



TUGAS AKHIR - TM 091585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
TEMPERATUR DAN DEBIT *THERMAL OIL*
SEBAGAI *HEATER GENERATOR* TERHADAP
PERFORMANSI MESIN PENDINGIN DIFUSI
ABSORPSI R22-DMF**

DENIS ARYANTO
NRP. 2112 106 042

Dosen Pembimbing
Ary Bachtiar K.P.,S.T.,M.T.,Ph.D

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TM 091585

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF
THERMAL OIL TEMPERATURE AND FLOW AS
HEATER GENERATOR TOWARD THE
PERFORMANCE OF DIFFUSION ABSORPTION
REFRIGERATION SYSTEM WITH R22-DMF**

DENIS ARYANTO
NRP. 2112 106 042

Academic Supervisor
Ary Bachtiar K.P.,S.T.,M.T.,Ph.D

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
TEMPERATUR DAN DEBIT *THERMAL OIL* SEBAGAI
HEATER GENERATOR TERHADAP PERFORMANSI
MESIN PENDINGIN DIFUSI ABSORPSI R22-DMF**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DENIS ARYANTO

NRP. 2112 106 042

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ary Bachtiar K.P., S.P., M.T., Ph.D. (Pembimbing)
NIP. 197105241997021001
2. Prof. Dr. Ir. Djanmiko Ichsan, M.Eng. (Penguji 1)
NIP. 195310191979031003
3. Ir. Sudjud Darsopuspito, M.T. (Penguji 2)
NIP. 194908291976031002

SURABAYA
JANUARI, 2015

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN DEBIT *THERMAL OIL* SEBAGAI *HEATER GENERATOR* TERHADAP PERFORMANSI MESIN PENDINGIN DIFUSI ABSORPSI R22-DMF

Nama Mahasiswa : Denis Aryanto
NRP : 2112 106 042
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ary Bachtiar K.P.,S.T.,M.T.,Ph.D

Abstrak

Sistem pendingin saat ini sudah menjadi salah satu kebutuhan yang sangat penting untuk menunjang berbagai aktifitas manusia seperti kebutuhan dibidang industri, pendidikan, perumahan dan kebutuhan lainnya. Salah satu teknologi pendinginan yang ada saat ini adalah sistem refrijerasi difusi absorpsi atau DAR (Diffusion Absorption Refrigeration). Sistem ini menggunakan generator untuk menjalankan sistemnya sebagai pengganti kompresor pada sistem kompresi uap. Berbeda dengan kompresor, generator membutuhkan input berupa kalor. Besar kecilnya COP (Coefficient of performance) mesin pendingin difusi absorpsi salah satunya dipengaruhi oleh jumlah kalor yang diberikan pada generator. Eksperimen ini bertujuan untuk melakukan analisa unjuk kerja pada mesin pendingin difusi absorpsi sehingga performa mesin dapat meningkat.

Eksperimen dilakukan dengan menggunakan mesin pendingin difusi absorpsi yang berada di jurusan Teknik Mesin ITS yang telah dimodifikasi pada bagian sumber panas menggunakan thermal oil sebagai heater generator. Fluida kerja dalam sistem yang digunakan adalah pasangan refrijeran-absorben R22-DMF (Dimethylformamida) dengan konsentrasi massa 60%-40%. Pengambilan data dilakukan dengan 3 variasi

debit thermal oil yaitu : 6 liter/jam, 8 liter/jam, dan 10 liter/jam. Sedangkan temperatur thermal oil divariasikan sebesar 90°C , 110°C dan 130°C . Dari eksperimen tersebut diperoleh data-data sebagai acuan perhitungan pengaruh variasi temperatur dan debit thermal oil terhadap performansi sistem pendingin difusi absorpsi.

Hasil yang didapatkan dari eksperimen ini adalah unjuk kerja terbaik dari sistem difusi absorpsi ini diperoleh nilai COP terbesar 0.612 yang didapatkan pada temperatur thermal oil sebesar 130°C dengan debit thermal oil sebesar 8 liter/jam. Untuk nilai kapasitas pendinginan (\dot{Q}_{evap}) terbesar diperoleh sebesar 139,1 watt, laju perpindahan panas pada generator (\dot{Q}_{gen}) 233 watt, laju perpindahan panas pada kondensor 143 watt, laju alir massa refrijeran 0.000721 kg/s serta efisiensi generator 0,233 yang didapatkan pada temperatur thermal oil sebesar 130°C dan debit 6 liter/jam.

Kata Kunci : Difusi Absorpsi, DAR, COP, R22-DMF, Heater Generator.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF THERMAL OIL TEMPERATURE AND FLOW AS HEATER GENERATOR TOWARD THE PERFORMANCE OF DIFFUSION ABSORPTION REFRIGERATION SYSTEM WITH R22-DMF

Student Name : Denis Aryanto
NRP : 2112 106 042
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Academic Supervisor : Ary Bachtiar K.P.,S.T.,M.T.,Ph.D

Abstract

Refrigeration systems nowadays have become one of the most important need to support human activities such as industrial, educational, residential etc. One of the refrigeration technology that still exist is Diffusion Absorption Refrigeration (DAR). The system used the generator to start the system as a substitute for compressor in vapour compression system. Different with compressor, the generator need amount of heat to start. Coefficient of performance (COP) of this system mostly influenced by number of heat that supplied to the generator. This experiment is used to analyze the performance of diffusion absorption refrigeration system so the performance can be improved.

The experiment used diffusion absorption refrigeration system at mechanical engineering department of ITS that has modified so it can use thermal oil as heater generator. The working fluids used in this system are refrigerant-absorbent pair R22-DMF (Dimethylformamida) with 60%-40% mass concentration. Data decision did with 3 variations of fluid flow, 6 litre/hour, 8 litre/hour and 10 litre/hour. Thermal oil temperature varied into 90°C, 110°C and 130°C. From this experiment we

gained datas as reference for performance calculation of this system.

The result that can be obtained from this experiment is the best performance for this diffusion absorption refrigeration system gained the highest COP 0.612 from 130°C thermal oil temperature and 8 litre/hour fluidflow. It is also obtained that cooling capacity (\dot{Q}_{evap}) is 139,1 watt, heat transfer rate of generator (\dot{Q}_{gen}) is 233 watt, heat transfer rate of condenser (\dot{Q}_{cond}) is 143 watt, mass transfer rate of refrigerant is 0.000721 kg/s and generator efficiency is 0,233 that all gained from 130°C thermal oil temperature and 6 litre/hour fluidflow

Keywords : Diffusion Absorption Refrigeration, COP, R22-DMF, Heater Generator.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke khadirat Allah SWT atas segala rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Temperatur dan Debit *Thermal Oil* Sebagai *Heater Generator* Terhadap Performansi Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22-DMF” tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk meraih gelar sarjana strata 1 jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dukungan serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ary Bachtiar K.P.,S.T.,M.T.,Ph.D selaku dosen pembimbing, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng dan Ir. Sudjud Darsopuspito, M.T selaku dosen penguji atas semua masukan dan arahan demi kesempurnaan tugas akhir ini.
3. Orangtua tercinta Bapak H.Amat Rahmat dan Ibu Hj.Karwati serta adikku Regita Rahmawati atas semua doa, perhatian dan dukungan baik moril maupun materil yang telah diberikan.
4. Bapak Bambang Arip D.,S.T.,M.Sc.,Ph.D selaku dosen wali yang telah memberikan arahan selama masa perkuliahan.
5. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Jurusan S1 Teknik Mesin ITS 2013-2015, yang telah banyak memberikan ilmu serta bantuan selama menjalani kuliah.
6. Teman dan saudara sekontrakan sunda : Sukri, Randi, Restu, Fauzi, Wawan, Deni, Asep atas semua ide, bantuan, dukungan serta motivasi selama tinggal bersama di Surabaya.

7. Keluarga besar Lab. Pendingin Teknik Mesin FTI-ITS: Pak Minto, Mas Erdin, partner Tugas Akhir Sukri serta Asal, Uji, Agung, Meilani terima kasih atas kerjasama, bantuan, ide dan saran yang telah diberikan sehingga tugas akhir ini bisa terselesaikan dengan baik.
8. Seluruh teman-teman seperjuangan LJ Mesin 2012 yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, terimakasih untuk semua bantuan serta dukungan selama menjalani masa perkuliahan bersama juga untuk semua tawa serta canda yang selalu membuat masa perkuliahan lebih berwarna.
9. Teman hidup terkasih Rafika Rizki Putri yang selalu setia menunggu penulis untuk menyelesaikan kuliah serta untuk semua doa dan dukungan yang telah diberikan selama ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang dapat mengembangkan Tugas Akhir ini menjadi lebih baik. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Surabaya, 28 Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.1.1 Wilson A. D. Ambesa (2011) - Analisa Termodinamis Performansi Mesin Pendingin Sistem Difusi Absorpsi Amonia-Air Dengan Variasi Panas <i>Generator</i>	5
2.1.2 A. Zohar, dkk (2005) – The Influence of Diffusion Absorption Refrigeration Cycle Configuration on The Performance	6
2.1.3 Angga Panca Adianto (2013) – Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Debit Fluida <i>Engine Oil</i> Sebagai <i>Heater Generator</i> Terhadap Performansi Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22-DMF	7

2.1.4 Mohamad Riva'I (2013) - Studi Eksperimen Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R-22-DMF Variasi <i>Heater Generator</i>	9
2.2 Refrigerasi Absorpsi	10
2.2.1 Refrigerasi difusi absorpsi (<i>diffusion absorption refrigeration</i>)	12
2.3 Karakteristik Pasangan Refrijeran-Absorben.....	15
2.4 Perhitungan Parameter Sistem Difusi Absorpsi.....	16
2.4.1 Fraksi massa larutan R22 dan DMF	16
2.4.2 <i>Enthalpy</i> campuran R22 dan DMF	19
2.4.3 Tekanan parsial R22 pada <i>evaporator</i>	20
2.5 Performa Pada Mesin Difusi Absorpsi	21
2.5.1 Laju aliran massa refrijeran (\dot{m}_{ref}).....	21
2.5.2 Kapasitas pendinginan (Q_{evap}).....	22
2.5.3 Kalor yang diserap <i>generator</i> (Q_{gen}) dan laju aliran massa larutan di <i>generator</i>	24
2.5.4 Efisiensi <i>generator</i> (η_{gen})	25
2.5.5 COP (<i>coefficient of performance</i>).....	26
BAB III METODOLOGI	27
3.1 Proses Penelitian	27
3.2 Sistematika Penelitian.....	27
3.3 <i>Flowchart</i> Redesain <i>Input Generator</i> dan Pembuatan Kontrol Mesin.....	28
3.4 Skema dan Peralatan Penunjang Pengujian	29
3.4.1 Skema sistem mesin pendingin difusi absorpsi	30
3.4.2 Alat ukur yang digunakan	31
3.4.3 Peralatan untuk pengisian R22-DMF dan hidrogen.....	32
3.4.4 Peralatan <i>safety</i>	32
3.5 Prosedur Pengisian R22-DMF-Gas Hidrogen	33
3.6 Parameter Yang Diukur	36

3.7	Prosedur Pengambilan Data.....	36
BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA.....		41
4.1	Data Hasil Eksperimen	41
4.2	Perhitungan Data	41
4.2.1	Nilai konsentrasi <i>weak solution</i>	42
4.2.2	Nilai <i>enthalpy</i> di setiap titik pengamatan	43
4.2.3	Perhitungan tekanan parsial R22 pada <i>evaporator</i>	46
4.2.4	Perhitungan laju aliran massa refrijeran	47
4.2.5	Perhitungan kapasitas pendinginan.....	48
4.2.6	Perhitungan kalor yang diserap <i>generator</i>	48
4.2.7	Perhitungan efisiensi <i>generator</i>	48
4.2.8	Perhitungan COP	49
4.3	Pembahasan Grafik.....	49
4.3.1	Grafik \dot{m} refrijeran fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	49
4.3.2	Grafik \dot{m} refrijeran fungsi debit <i>thermal oil</i>	50
4.3.3	Grafik ΔT <i>oil</i> fungsi debit <i>thermal oil</i>	51
4.3.4	Grafik \dot{m} refrijeran fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	53
4.3.5	Grafik Q <i>oil</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	54
4.3.6	Grafik Q <i>oil</i> fungsi debit <i>thermal oil</i>	56
4.3.7	Grafik Q <i>oil</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	57
4.3.8	Grafik Q <i>oil</i> fungsi Q <i>generator</i>	59
4.3.9	Grafik Q <i>evaporator</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	60
4.3.10	Grafik Q <i>evaporator</i> fungsi debit <i>thermal oil</i>	62
4.3.11	Grafik Q <i>evaporator</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	63
4.3.12	Grafik Q kondensor fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	65
4.3.13	Grafik Q kondensor fungsi debit <i>thermal oil</i>	66
4.3.14	Grafik Q kondensor fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	68

4.3.15 Grafik efisiensi <i>generator</i> fungsi temperatur inlet <i>generator</i>	69
4.3.16 Grafik efisiensi <i>generator</i> fungsi debit <i>thermal oil</i>	71
4.3.17 Grafik efisiensi <i>generator</i> fungsi temperatur inlet <i>generator</i>	72
4.3.18 Grafik COP fungsi temperatur inlet <i>generator</i>	74
4.3.19 Grafik COP fungsi debit <i>thermal oil</i>	75
4.3.20 Grafik COP fungsi temperatur inlet <i>generator</i>	77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik pengaruh daya input generator terhadap COP (<i>Wilson, 2011</i>).....	5
Gambar 2.2 (a) Skema sistem DAR 1 (b) Skema sistem DAR 2 (<i>A. Zohar, dkk, 2005</i>).....	6
Gambar 2.3 Grafik COP fungsi <i>T inlet generator</i> (<i>Angga Panca, 2013</i>).....	8
Gambar 2.4 (a) <i>Generator</i> sebelum dimodifikasi (b) <i>Generator</i> sesudah dimodifikasi (<i>Riva'I, 2013</i>)	9
Gambar 2.5 Siklus kompresi uap ideal.....	10
Gambar 2.6 Siklus refrijerasi absorpsi	11
Gambar 2.7 Skema mesin pendingin difusi absorpsi (<i>Riva'I, 2013</i>).....	13
Gambar 2.8 Diagram P-T-X campuran R22-DMF.....	18
Gambar 2.9 Penampang kondenser dan laju aliran massa refrijeran	21
Gambar 2.10 <i>Control volume evaporator</i> tipe <i>dobular tube</i>	23
Gambar 2.11 <i>Control volume</i> pada <i>Generator</i>	24
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> sistematika penelitian.....	28
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> redesain <i>input generator</i> dan pembuatan kontrol mesin.....	29
Gambar 3.3 Skema mesin pendingin difusi absorpsi	30
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> pengisian R22-DMF-gas hidrogen.....	33
Gambar 3.5 <i>Flowchart</i> Pengambilan data	37
Gambar 4.1 Diagram P-T-X untuk mencari konsentrasi <i>weak solution</i> . (<i>Agarwal, 1982</i>).	43
Gambar 4.2 Grafik laju aliran massa refrijeran fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	49
Gambar 4.3 Grafik laju aliran massa refrijeran fungsi debit <i>thermal oil</i>	50
Gambar 4.4 Grafik ΔT oil fungsi debit <i>thermal oil</i>	51

Gambar 4.5	Grafik laju aliran massa refrijeran fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	53
Gambar 4.6	Grafik laju perpindahan panas <i>oil</i> pada <i>generator</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	54
Gambar 4.7	Grafik laju perpindahan panas <i>oil</i> pada <i>generator</i> fungsi debit <i>thermal oil</i>	56
Gambar 4.8	Grafik laju perpindahan panas <i>generator</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	57
Gambar 4.9	Grafik laju perpindahan panas <i>generator</i> fungsi laju perpindahan panas oli	59
Gambar 4.10	Grafik laju perpindahan panas <i>evaporator</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	60
Gambar 4.11	Grafik laju perpindahan panas <i>evaporator</i> fungsi debit <i>thermal oil</i>	62
Gambar 4.12	Grafik laju perpindahan panas <i>evaporator</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	63
Gambar 4.13	Grafik laju perpindahan panas kondensor fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	65
Gambar 4.14	Grafik laju perpindahan panas kondensor fungsi debit <i>thermal oil</i>	66
Gambar 4.15	Grafik laju perpindahan panas kondensor fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	68
Gambar 4.16	Grafik efisiensi <i>generator</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	69
Gambar 4.17	Grafik efisiensi <i>generator</i> fungsi debit <i>thermal oil</i>	71
Gambar 4.18	Grafik efisiensi <i>generator</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i>	72
Gambar 4.19	Grafik COP fungsi temperatur <i>inlet generator</i> ...	74
Gambar 4.20	Grafik COP fungsi debit <i>thermal oil</i>	75
Gambar 4.21	Grafik COP fungsi temperatur <i>inlet generator</i> ...	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Physical properties</i> R22-DMF	16
--	----

BIODATA PENULIS



Denis Aryanto lahir di Garut pada 20 Desember 1992 yang merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK 1 Weragati, SDN 1 Tanjung Kamuning, SMPN 2 Garut, SMAN 1 Garut (ex.SMAN 1 Tarogong Kidul) dan Politeknik Manufaktur Negeri Bandung Jurusan Teknik Manufaktur. Setelah mendapatkan gelar D3 pada tahun 2012, penulis mengikuti ujian masuk program Lintas Jalur D3-S1 ITS dan diterima di Jurusan Teknik Mesin ITS pada tahun 2013. Di jurusan Teknik Mesin ITS ini penulis mengambil Bidang Studi Konversi Energi. Disela-sela waktu kuliah, penulis mengisi waktu luang untuk menyalurkan hobifutsal dan traveling ke beberapa tempat baru untuk lebih meningkatkan wawasan mengenai keanekaragaman budaya indonesia.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada era globalisasi ini, kebutuhan akan energi terbarukan sangatlah tinggi mengingat dengan terbatasnya cadangan energi yang tersedia saat ini. Energi panas merupakan salah satu bentuk energi yang jumlahnya sangat melimpah sehingga bisa dimanfaatkan untuk banyak kebutuhan masyarakat luas. Kebutuhan akan energi terbarukan ini salah satunya datang dari kebutuhan energi untuk sistem pendingin. Sistem pendingin saat ini menjadi salah satu kebutuhan yang penting untuk menunjang berbagai aktifitas manusia seperti kebutuhan dibidang industri, perkantoran, perumahan dan kebutuhan lainnya. Sistem pendinginan yang umum digunakan saat ini adalah sistem refrijerasi kompresi uap. Sistem ini menggunakan energi listrik yang cukup besar untuk menggerakkan kompresor sehingga secara tidak langsung mengurangi jumlah energi yang tersedia untuk menghasilkan listrik tersebut.

Dengan adanya permasalahan tersebut, maka diperlukan suatu inovasi untuk memanfaatkan energi terbarukan ataupun energi yang sudah tidak terpakai menjadi suatu energi yang bermanfaat untuk mengurangi penggunaan energi listrik pada sistem pendinginan. Salah satu inovasi yang telah ditemukan adalah *Diffusion Absorption Refrigeration System (DAR)* atau sistem refrijerasi difusi absorpsi yang ditemukan pada tahun 1922 oleh mahasiswa dari *Royal Institute of Technology* di Swedia. Sistem ini memanfaatkan energi panas yang sudah tidak terpakai ataupun sumber energi terbarukan sebagai sumber energi untuk menjalankan suatu sistem pendingin. Sumber energi panas ini bisa bersumber dari panas matahari, gas buang kendaraan ataupun panas sisa pembakaran di industri. Sistem refrijerasi difusi absorpsi berbeda dengan sistem yang menggunakan siklus

kompresi uap dimana pada sistem difusi absorpsi tidak menggunakan kompresor untuk menjalankan sistemnya tetapi menggunakan *generator* yang diberikan *input* berupa panas. *Generator* berfungsi untuk memisahkan pasangan larutan refrigeran-absorben yang digunakan pada sistem difusi absorpsi serta menaikkan tekanan refrigeran yang akan masuk kedalam kondensor. Sementara itu untuk menurunkan tekanannya digunakan hidrogen sebagai gas *inert* yaitu gas yang tidak akan ikut bereaksi pada saat bercampur dengan refrigeran.

Sistem refrigerasi difusi absorpsi ini bukan tidak memiliki kelemahan. *Coefficient of performance* (COP) sistem ini relatif rendah bila dibandingkan dengan sistem yang menggunakan sistem kompresi uap. Oleh karena itu diperlukan studi eksperimen untuk mendapatkan COP maksimal yang bisa didapatkan dari penggunaan sistem difusi absorpsi. Pada penelitian ini penulis melakukan studi eksperimen menggunakan mesin pendingin difusi absorpsi di jurusan Teknik Mesin ITS. Mesin dimodifikasi dengan mengganti sumber panas *generator* menggunakan *heat transfer oil* yang dipanaskan dengan *electric heater*, R22-DMF dipakai sebagai pasangan refrigeran-absorben. Pengamatan akan difokuskan terhadap pengaruh variasi temperatur *heat transfer oil* sebagai sumber panas *generator* dan pengaruh variasi debit *heat transfer oil* terhadap performa mesin pendingin difusi absorpsi.

Dengan adanya penelitian ini diharapkan *coefficient of performance* dari sistem pendingin difusi absorpsi bisa lebih maksimal sehingga pada aplikasinya, energi panas yang jumlahnya sangat melimpah bisa digunakan sebaik-baiknya untuk kebutuhan masyarakat luas.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini terdapat beberapa rumusan masalah yang akan dibahas antara lain :

1. Bagaimana pengaruh temperatur *thermal oil* pada *generator* terhadap performa mesin pendingin difusi absorpsi.
2. Berapa besar performa maksimal yang bisa didapatkan dari mesin difusi absorpsi dengan fraksi massa refrijeran 60%.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh debit *thermal oil* pada *generator* terhadap performa mesin pendingin difusi absorpsi
2. Mengetahui pengaruh dari temperatur *thermal oil* pada *generator* terhadap performa mesin pendingin difusi absorpsi.
3. Mendapatkan performa maksimal dari mesin difusi absorpsi dengan fraksi massa refrijeran 60%.

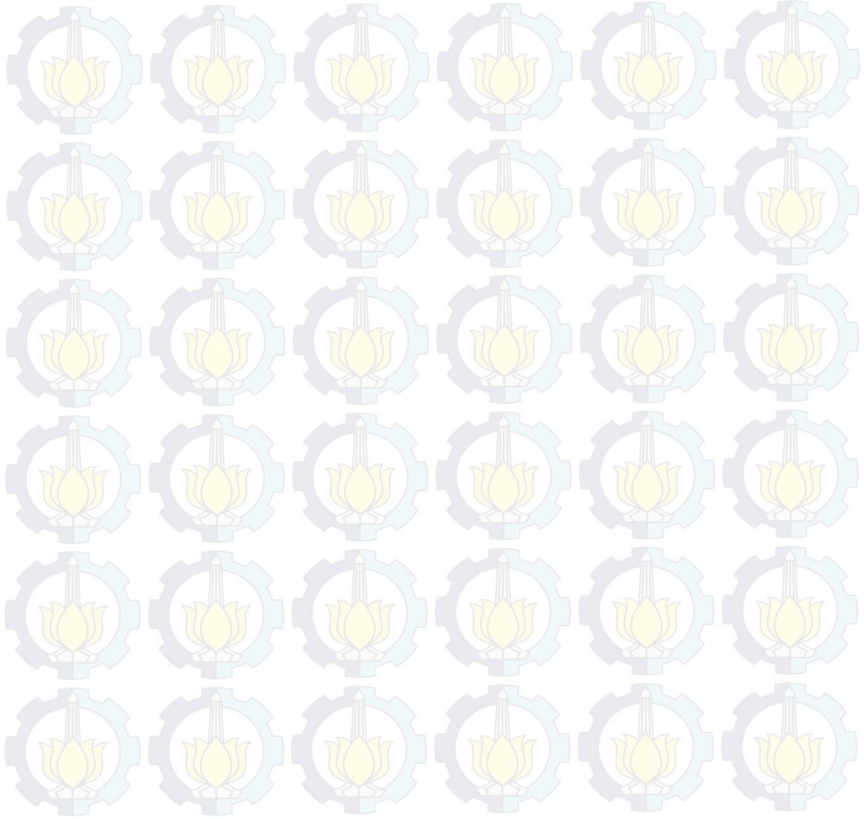
1.4 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus terhadap rumusan masalah yang sudah dituliskan, maka digunakan batasan masalah sebagai berikut :

1. Pasangan refrijeran-absorben yang digunakan adalah R22-DMF (*Dimetilformamida*) dan gas hidrogen sebagai gas *inert*.
2. Konsentrasi massa R22-DMF sebesar 60%-40%.
3. Tidak memperhitungkan rugi-rugi yang terjadi sepanjang pipa.
4. Perubahan energi kinetik dan potensial serta efek radiasi diabaikan.
5. Sistem beroperasi pada kondisi tunak (*steady state*).
6. Tidak menganalisa perubahan yang terjadi pada fluida absorben dan refrijeran secara kimia.
7. Analisa siklus yang digunakan adalah siklus DAR 1.

1.5 Manfaat Penelitian

Setelah dilakukannya penelitian ini diharapkan agar energi terbarukan ataupun *waste energy* bisa dimanfaatkan dengan lebih baik lagi dengan tujuan agar dapat melakukan penghematan konsumsi energi untuk kebutuhan sistem pendingin. Selain itu diharapkan penelitian ini bisa menjadi acuan untuk pengembangan sistem refrijerasi dimasa mendatang serta menambah pengetahuan untuk meningkatkan minat terhadap inovasi teknologi.



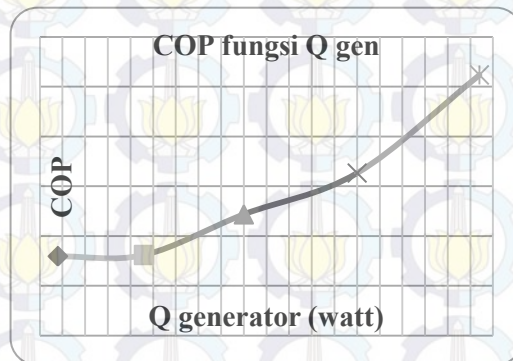
BAB II DASAR TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Sebagai referensi dalam proses pembuatan tugas akhir ini, penulis membuat rangkuman dari beberapa hasil penelitian mengenai sistem refrijerasi difusi absorpsi. Berikut ini beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

2.1.1 Wilson A. D. Ambesa (2011) - Analisa Termodinamis Performansi Mesin Pendingin Sistem Difusi Absorpsi Amonia-Air Dengan Variasi Panas Generator.

Wilson melakukan penelitian pada mesin difusi absorpsi dengan memvariasikan energi panas sebesar 64 W, 83 W, 105 W, 130 W dan 157 W masing masing untuk volume beban 1 L. Beban pendinginan ialah air dengan temperatur 30°C dengan variasi volume mulai dari 1L, 2L, 3L, 4L hingga 5L untuk daya input konstan yakni 157 W.

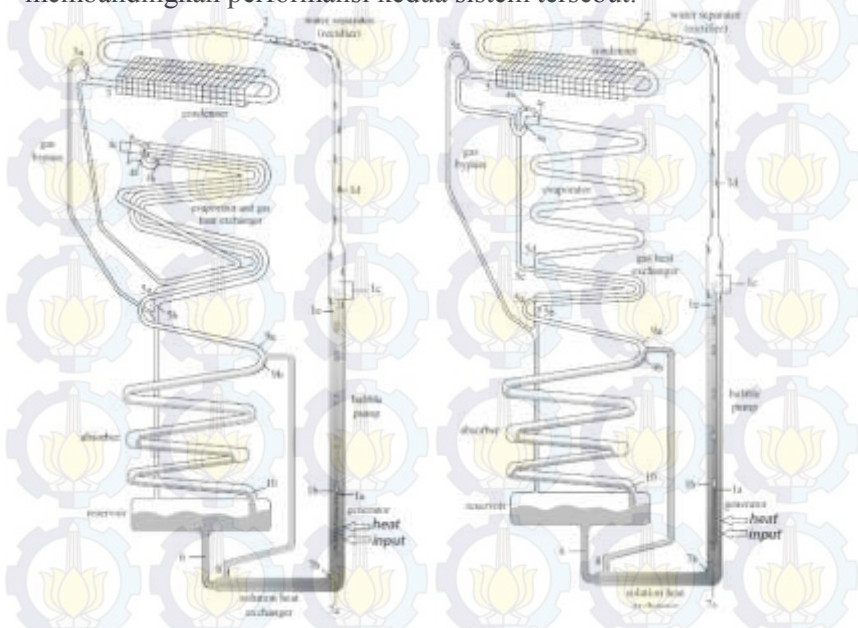


Gambar 2.1 Grafik pengaruh daya input generator terhadap COP
(Wilson, 2011)

Dalam penelitian Wilson (2011), seperti terlihat pada gambar 2.1 hasil yang diperoleh dari pengujian adalah semakin tinggi panas *input generator* maka semakin baik performa sistem. Kapasitas pendinginan terbesar terbesar ialah 4,3 W dengan optimum COP 0,03, laju alir massa refrigeran di *evaporator* yang terbesar ialah 13.6 gram/jam.

2.1.2 A. Zohar, dkk (2005) – The Influence of Diffusion Absorption Refrigeration Cycle Configuration on The Performance

Zohar dkk., melakukan sebuah penelitian tentang *diffusion absorption refrigeration cycle* mereka melakukan penelitian dengan melakukan perubahan konstruksi pada *evaporator*nya dan membandingkan performansi kedua sistem tersebut.



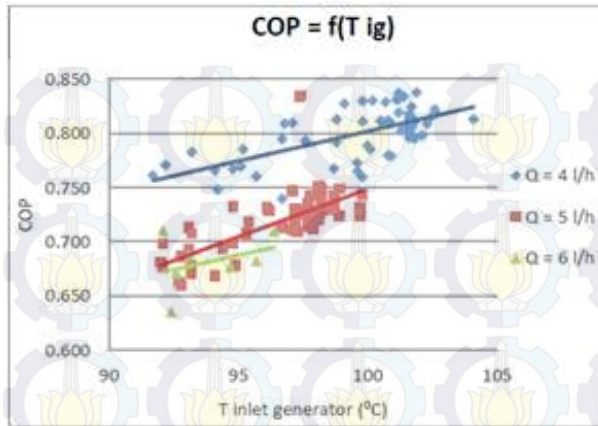
Gambar 2.2 (a) Skema sistem DAR 1 (b) Skema sistem DAR 2
(A. Zohar, dkk, 2005)

Pada sistem DAR-1 konstruksi dibuat agar amonia yang telah terkondensasi akan didinginkan terlebih dahulu dengan pasangan *evaporator* dan *gas heat exchanger* sebelum masuk ke *input evaporator* seperti terlihat pada gambar 2.2 (a). Sedangkan untuk sistem DAR-2 amonia yang sudah terkondensasi tidak mengalami pendinginan sebelum masuk ke *evaporator*. *Evaporator* dibuat secara terpisah dengan *gas heat exchanger* seperti terlihat pada gambar 2.2 (b).

Berdasarkan hasil analisa didapatkan bahwa COP dari sistem DAR 2 20% lebih baik daripada DAR 1, namun DAR 1 dapat memberikan temperatur pendinginan yang lebih rendah. Dalam hasil penelitian direkomendasikan konsentrasi refrijeran untuk larutan kaya optimum antara 0.3 – 0.4, sedangkan konsentrasi untuk larutan lemah 0.1.

2.1.3 Angga Panca Adianto (2013) – Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Debit Fluida *Engine Oil* Sebagai *Heater Generator* Terhadap Performansi Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22-DMF

Angga melakukan penelitian pada mesin difusi absorpsi dengan memvariasikan debit fluida panas yang akan melalui *generator*. Debit divariasikan sebesar 4 liter/jam, 5 liter/jam dan 6 liter/jam.

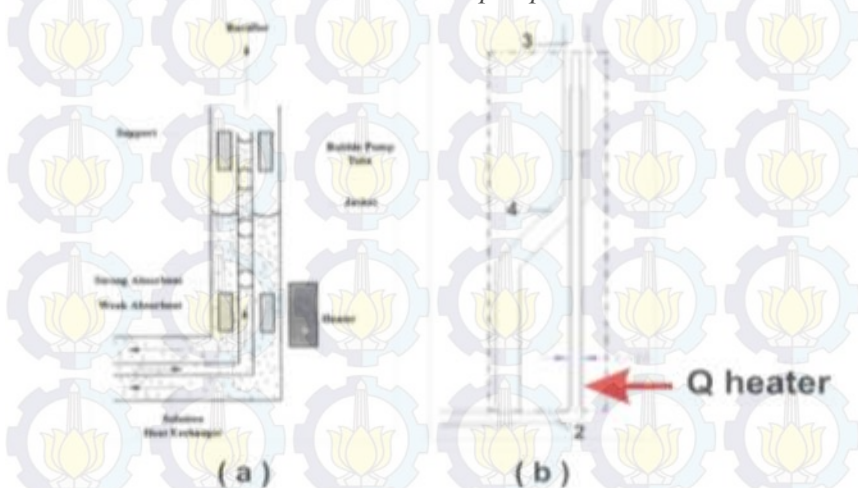


Gambar 2.3 Grafik COP fungsi $T_{inlet\ generator}$ (Angga Panca, 2013)

Dari grafik diatas dapat dilihat pengaruh dari $T_{inlet\ generator}$ terhadap COP sistem adalah semakin naik $T_{inlet\ generator}$ maka semakin naik juga COP nya. Hasil yang diperoleh dari pengujian untuk variasi debit fluida 4 liter/jam sampai 6 liter/jam yaitu semakin lambat debit fluida yang disirkulasikan pada *generator* maka nilai COP nya semakin naik seiring dengan naiknya nilai laju perpindahan panas pada *generator*nya. Unjuk kerja terbaik dari sistem difusi absorpsi diperoleh pada temperatur *inlet generator* sebesar 104.1 °C dengan debit *engine oil* 4 liter/jam yaitu diperoleh kapasitas pendinginan sebesar 120.4819 watt, COP 0.83 dan *circulation ratio* 2.5358.

2.1.4 Mohamad Riva'I (2013) - Studi Eksperimen Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R-22-DMF Variasi *Heater Generator*

Pada penelitian kali ini Riva'i mendesain ulang *generator* sistem DAR 2 dengan menghilangkan pipa *weak solution* pada *bubble pump*. Sehingga *heater electric* akan langsung dibebankan pada *bubble pump*. Hal ini dimaksudkan agar efisiensi panas dari *heater electric* yang diserap oleh *generator* akan meningkat dikarenakan semakin menurunnya tahanan termal dari panas yang diberikan *heater electric* ke *bubble pump*.



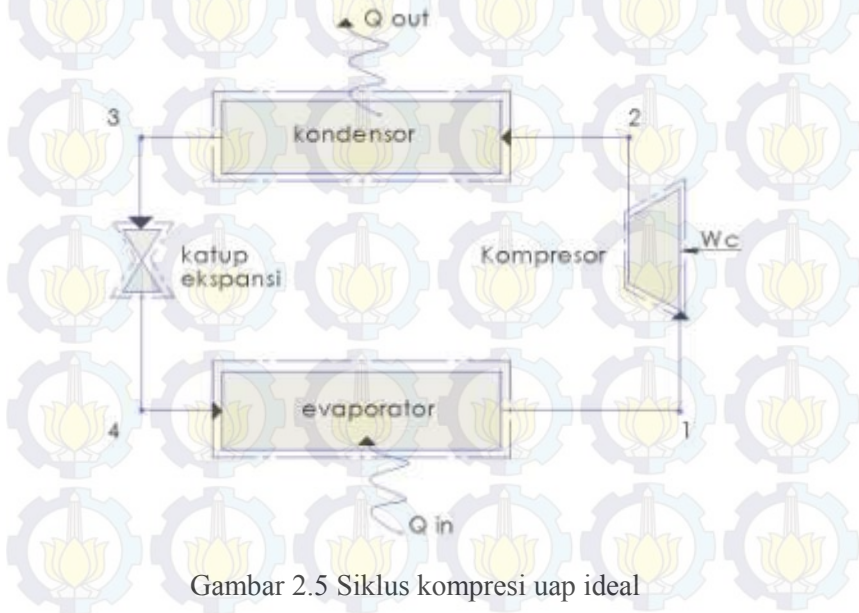
Gambar 2.4 (a) *Generator* sebelum dimodifikasi (b) *Generator* sesudah dimodifikasi (Riva'I, 2013)

Riva'i menganalisa pengaruh variasi panas yang diberikan pada *generator* terhadap performansi sistem DAR 2. Besaran panas yang diberikan pada *generator* divariasikan dengan voltase *heater electric* 140 V (102,2 watt), 160 V (116,8 watt), 180 V (131,4 watt), 200 V (146 watt) dan 220 V (160,6 watt). Hasil yang didapatkan adalah semakin tinggi panas yang diberikan maka performa sistem DAR akan naik. Dengan daya yang

diberikan ke *generator* $Q_{heater} = 160,6$ Watt, didapatkan $Q_{evap} = 0,11105$ KW, efisiensi *generator* $\eta_{gen} = 0,7782$, COP = 0,88 dan f (*Circulation Ratio*) = 2,098.

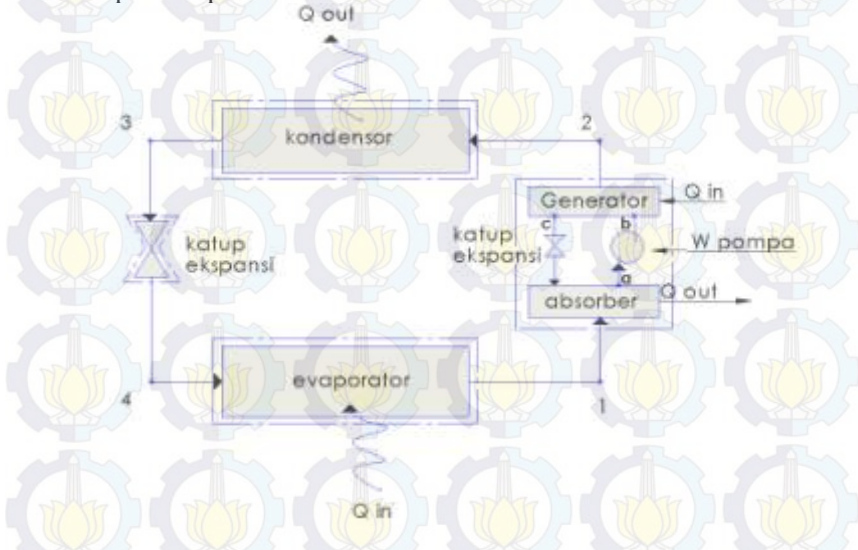
2.2 Refrigerasi Absorpsi

Sistem refrijerasi absorpsi merupakan sebuah sistem pendingin yang menggunakan energi *thermal* untuk menjalankan sistemnya. Sistem ini menggunakan dua jenis fluida yaitu refrijeran dan absorben. Pada proses penyerapan panas dari lingkungan, kedua sistem tersebut sama-sama melalui penguapan refrijeran pada tekanan rendah dan pelepasan kalor refrijeran pada tekanan yang lebih tinggi. Pada siklus kompresi uap digunakan kompresor tenaga listrik untuk mengkompresi refrijeran sehingga mempunyai tekanan tinggi. Pada siklus difusi absorpsi, fluida sekunder yang disebut absorben menyerap refrijeran untuk mendorong sirkulasi refrijeran.



Gambar 2.5 Siklus kompresi uap ideal

Pada gambar 2.5 siklus dimulai kompresor yang akan mengompresi uap refrigeran keluaran *evaporator* untuk menaikkan tekanannya secara adiabatik dan *reversible*. Kemudian uap refrigeran masuk ke kondensor untuk melakukan proses pelepasan kalor ke lingkungan pada tekanan konstan sehingga uap panas lanjut berubah fase menjadi cair jenuh. Proses berlanjut menuju katup ekspansi untuk menurunkan tekanan refrigeran sebelum masuk ke *evaporator*. Setelah itu refrigeran masuk ke *evaporator* untuk melakukan penyerapan panas dari lingkungan pada tekanan konstan sehingga refrigeran kembali berubah fase menjadi uap jenuh. Uap jenuh ini kemudian yang akan di kompresi kembali oleh kompresor untuk menjalankan sistem kompresi uap.



Gambar 2.6 Siklus refrijerasi absorpsi

Pada gambar 2.6 Siklus dimulai dari *generator*, dimana larutan campuran refrigeran-absorben diberikan kalor input untuk menaikkan temperaturnya. Refrigeran yang memiliki titik didih lebih rendah dari absorben akan menguap sehingga akan masuk

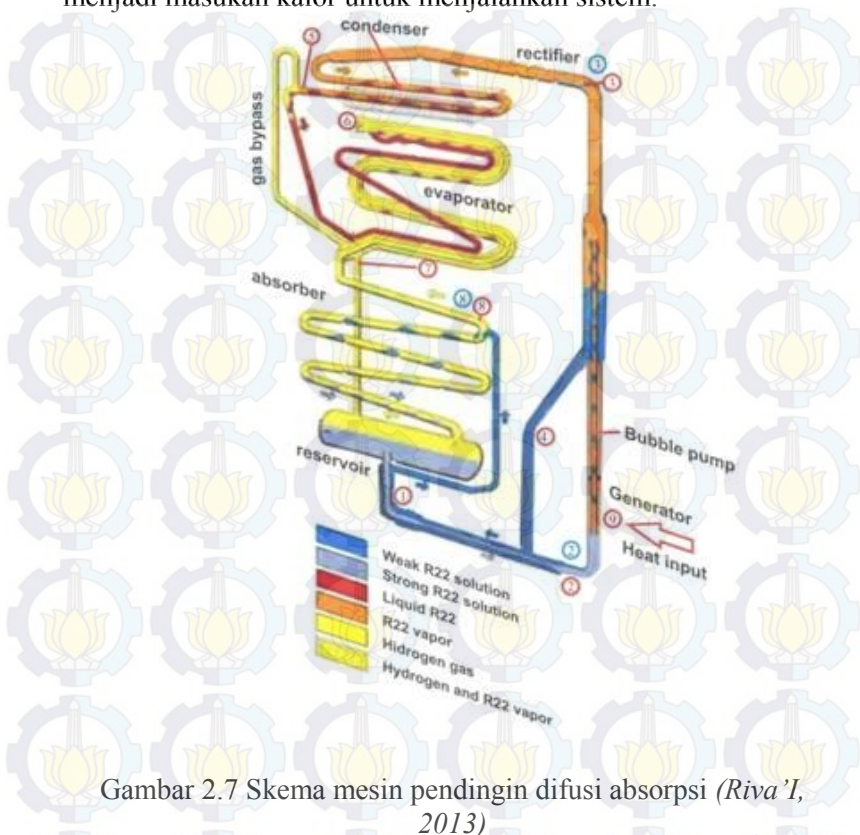
ke kondensor. Larutan yang mengandung sedikit refrijeran (*weak solution*) akan masuk kembali kedalam *absorber* melalui sebuah katup ekspansi. Di dalam kondenser terjadi pelepasan panas dari refrijeran ke lingkungan sehingga refrijeran yang berfase gas akan terkondensasi dan keluar dari kondensor dalam fase cair. Selanjutnya refrijeran yang sudah dalam fase cair akan mengalir menuju *evaporator*. Sebelum masuk *inlet* dari *evaporator*, tekanan dari refrijeran akan di turunkan oleh sebuah katup ekspansi sehingga temperatur dari refrijeran akan menurun sejalan dengan penurunan tekanan. Di dalam *evaporator* kalor dari lingkungan akan diserap oleh refrijeran sehingga terjadi perubahan fase dari cair menjadi uap. Setelah dari *evaporator*, refrijeran yang berfase uap akan bergerak menuju *absorber* untuk diserap oleh absorben sehingga terbentuk campuran antara refrijeran dan absorben. Dalam proses penyerapan refrijeran oleh absorben terjadi pertukaran panas dari campuran refrijeran-absorben ke lingkungan sekitar. Dikarenakan posisi dari *absorber* yang lebih rendah dari pada *generator*, maka dibutuhkan sebuah pompa untuk membawa campuran refrijeran dan absorben kedalam *generator*.

Keuntungan dari sistem absorpsi ini adalah konsumsi daya yang lebih rendah jika dibandingkan dengan sistem kompresi uap karena penggunaan kompresor yang memerlukan kerja lebih besar dibandingkan kerja pompa.

2.2.1 Refrigerasi difusi absorpsi (*diffusion absorption refrigeration*)

Siklus refrigerasi difusi absorpsi pertama kali ditemukan oleh Baltzar von Platen dan Carl Munters, dua orang peneliti berkebangsaan Swedia pada tahun 1922, yang menggunakan pemanas elektrik atau pembakaran gas untuk energi pengoperasiannya. Pada mesin pendingin difusi absorpsi ini siklus kerjanya menggunakan energi termal sebagai masukan ke *generator* yang kebanyakan memanfaatkan *waste energy* yaitu

siswa energi yang sudah tidak dipakai yang masih dapat digunakan menjadi masukan kalor untuk menjalankan sistem.



Gambar 2.7 Skema mesin pendingin difusi absorpsi (Riva'I, 2013)

Dari gambar 2.7 diatas, bisa terlihat R22 dipakai sebagai refrijeran, DMF (*Dimetilformamida*) sebagai absorben dan hidrogen sebagai gas *inert*. Siklus dimulai dari tangki penampungan (*reservoir*) dimana terdapat larutan kaya (*strong solution*) campuran R22 dan DMF. Larutan ini kemudian mengalir ke *generator* akibat adanya kesetimbangan level cairan antara dua bejana yang berhubungan. *Strong solution* kemudian mengalami pemanasan di dalam *generator* yang menyebabkan

sebagian besar R22 menguap. Gelembung-gelembung uap R22 yang terbentuk akan menekan cairan yang berada di dalam *bubble pump*. Uap R22 akan terus bergerak ke atas menuju *rectifier* sementara larutan yang mengandung sedikit R22 (*weak solution*) akan mengalir menuju *absorber*. Uap R22 yang akan masuk ke kondensor akan dimurnikan oleh *rectifier* untuk menghilangkan sisa DMF yang masih terbawa uap R22.

Pada saat melewati kondensor, uap R22 akan melepaskan panas ke sekitar sehingga uap R22 akan terkondensasi secara sempurna dan keluar kondensor dalam fase *liquid*. Kemudian R22 keluaran kondensor akan masuk ke *evaporator* secara alami akibat adanya gaya gravitasi. Pada *inlet evaporator*, R22 akan bertemu dengan hidrogen yang berfungsi untuk menurunkan tekanan parsial R22 sebelum masuk ke *evaporator*. Turunnya tekanan R22 mengakibatkan R22 dapat menguap pada temperatur yang lebih rendah. Di dalam *evaporator*, R22 akan menyerap kalor dari sekitar sehingga terjadi pertukaran panas dari sekeliling ke *evaporator* yang mengakibatkan R22 menguap. Menguapnya R22 mengakibatkan semakin beratnya uap campuran R22-hidrogen sehingga uap campuran akan terbawa turun ke *reservoir*. Di dalam *reservoir* uap R22 akan terserap oleh DMF sehingga uap campuran hidrogen-R22 akan menjadi lebih ringan dan akan naik keatas menuju *absorber*. Di dalam *absorber* akan terjadi penyerapan sisa R22 yang masih tersisa dalam campuran hidrogen-R22 oleh *weak solution* yang turun menuju tangki *reservoir* sehingga yang tersisa hanya hidrogen saja. Siklus ini akan terus berulang selama *generator* masih diberikan energi termal.

2.3 Karakteristik Pasangan Refrijeran–Absorben

Ada beberapa kriteria campuran antara refrijeran dan absorben yang digunakan dalam siklus refrigerasi absorpsi, antara lain:

1. Perbedaan titik didih antara refrijeran dan larutan absorben pada tekanan yang sama haruslah sebesar mungkin.
2. Baik refrijeran dan absorben nya harus bersifat non korosif dan ramah lingkungan
3. Keduanya harus aman dan stabil secara kimia pada temperatur pengoperasian sistem.
4. Keduanya harus dapat terlarut dengan mudah pada segala kondisi proses.
5. Tekanan kerja keduanya harus cukup rendah dan sedekat mungkin dengan tekanan atmosfer.
6. *Latent heat* dari refrijeran harus setinggi mungkin.

Pada penelitian sistem refrigerasi difusi absorpsi ini digunakan pasangan refrijeran R22-DMF. R22 memiliki sifat yang baik sebagai refrijeran, stabil secara kimia, tidak mudah terbakar, tidak beracun dan kompatibel terhadap sebagian besar bahan komponen dalam sistem refrijerasi.

Dimethylformamide (DMF) adalah senyawa organik dengan rumus molekul C_3H_7NO . DMF merupakan cairan yang dapat bercampur dengan air dan sebagian besar zat cair organik lainnya. DMF tergolong zat *flammable* namun memiliki titik didih tinggi yang sering digunakan sebagai pelarut dalam reaksi kimia.

Pada penelitian ini DMF dipilih sebagai absorben karena memiliki daya larut tinggi. Selain itu titik didih tinggi yang dimiliki DMF juga menguntungkan karena memperkecil potensi DMF ikut menguap ketika diberikan panas di dalam *generator*. Berikut ini *physical properties* dari R22 dan DMF.

Tabel 2.1 *Physical properties* R22-DMF

<i>Properties</i>	R22	DMF
<i>Molecular Formula</i>	CHClF ₂	C ₃ H ₇ NO
<i>Molar Mass</i>	86.47 g/mol	73.09 g/mol
<i>Boiling Point</i> (1.013 bar)	-40.7 °C (-41.3 °F; 232.5 K)	152 to 154 °C; 305 to 309 °F; 425 to 427 K
<i>Density</i>	3.66 kg/m ³ at 15°C (gas) 4.706 kg/m ³ at - 41°C (gas) 1413 kg/m ³ at -41°C (liquid)	949 kg/m ³ (20°C) 931 kg/m ³ (40°C)
<i>Vapor Pressure</i>	908 kPa at 20°C	0.38 kPa at 20°C
<i>Critical Temperature</i>	96.2 °C (369.3 K)	374 °C (647.15 K)
<i>Critical Pressure</i>	4.936 MPa (49.36 bar)	4.42 Mpa (44.2 bar)

2.4 Perhitungan Parameter Sistem Difusi Absorpsi

2.4.1 Fraksi massa larutan R22 dan DMF

Konsentrasi larutan pada pasangan refrijeran R22-DMF dinyatakan dalam fraksi massa (X) dan fraksi mol (y). Istilah fraksi massa dan fraksi mol didefinisikan untuk R22. Sehingga apabila larutan R22-DMF mempunyai konsentrasi massa 60%, berarti ada massa R22 sebanyak 60% dari keseluruhan massa larutan.

Fraksi massa dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$X = \frac{m_{R22}}{m_{R22} + m_{DMF}} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

m_{R22} = massa R22

m_{DMF} = massa DMF

Dan fraksi mol larutan R22-DMF didefinisikan sebagai berikut:

$$y = \frac{n_{R22}}{n_{R22} + n_{DMF}} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

n_{R22} = jumlah mol R22 dalam larutan,

n_{DMF} = jumlah mol DMF dalam larutan.

Jumlah mol R22 maupun DMF dapat diperoleh dengan cara membagi massa masing-masing terhadap berat molekulnya (M_r), sehingga:

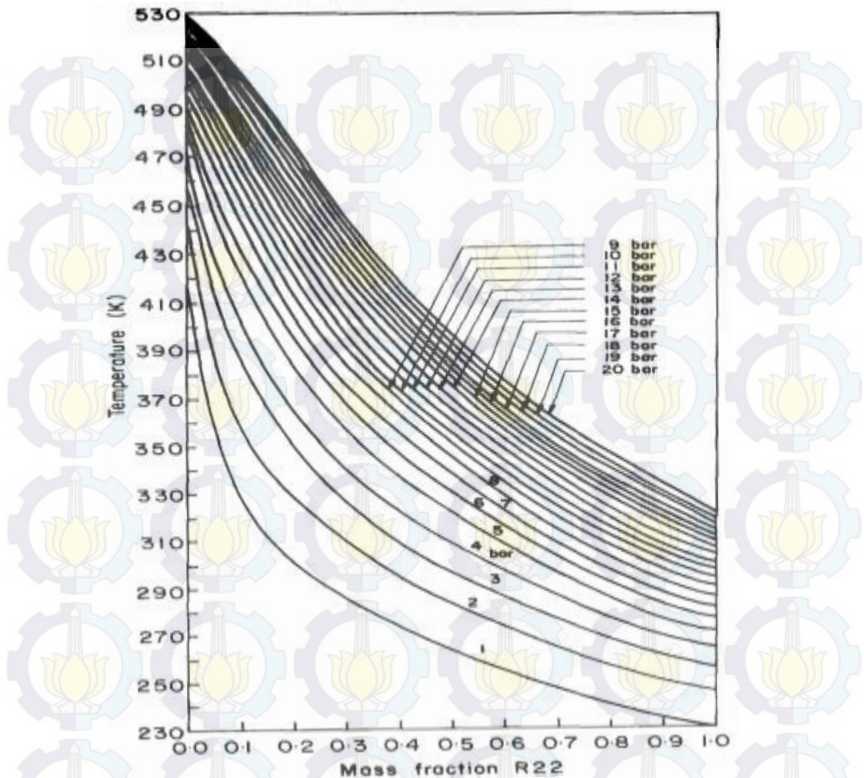
$$n_{R22} = \frac{m_{R22}}{M_{r \text{ R22}}} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$$n_{DMF} = \frac{m_{DMF}}{M_{r \text{ DMF}}} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

$M_{r \text{ R22}}$ = berat molekul R22

$M_{r \text{ DMF}}$ = berat molekul DMF



Gambar 2.8 Diagram P-T-X campuran R22-DMF
 [Agarwal (1982), *Solubility Characteristics of R22-DMF Refrigerant-Absorbent Combination*]

Pada mesin pendingin difusi absorpsi ini terdapat campuran R22 - DMF yang disebut dengan larutan kaya (*strong solution*) dan larutan miskin (*weak solution*). Dimana untuk mencari fraksi massa di *weak solution* dapat menggunakan diagram pada gambar 2.8 dengan menarik garis tekanan total pada sistem dan nilai temperatur yang ada di titik pengukuran.

2.4.2 *Enthalpy* campuran R22 dan DMF

Properties dari larutan dapat didekati dengan persamaan numerik yang dibangun oleh Fattouh dkk (1992). Dengan memasukkan data-data yang didapat dalam pengujian ke dalam persamaan-persamaan yang ada, maka dapat diketahui besarnya *enthalpy* dari larutan dan besarnya *properties* lainnya.

Besarnya *enthalpy strong solution* dan *weak solution* dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$h(T, X) = h_{sl,r} X + h_{sl,a} (1 - X) + h_{mix} \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana :

$h(T, X)$: *enthalpy* fungsi dari temperatur dan konsentrasi R22 (kJ/kg)

$h_{sl,r}$: *enthalpy saturated liquid* refrijeran (kJ/kg)

$h_{sl,a}$: *enthalpy saturated liquid* absorben (kJ/kg)

h_{mix} : *enthalpy* campuran refrijeran-absorben (kJ/kg)

Besarnya h_{mix} merupakan fungsi dari temperatur dan konsentrasi larutan yang memiliki hubungan sebagai berikut :

$$h_{mix}(T, X) = \left(\frac{((1-X) RT^2)}{M_{mix}} \right) (K_0 Y_0 + K_1 Y_1 + K_2 Y_2 + K_3 Y_3) \dots \dots (2.6)$$

dimana :

$$Y_0 = X / (1 - X)$$

$$Y_1 = (X / (1 - X)) + \ln(1 - X)$$

$$Y_2 = (1 / (1 - X)) - (1 - X) + 2\ln(1 - X)$$

$$Y_3 = (X / (1 - X)) + (X^2 / 2) + 2X + 3\ln(1 - X)$$

Untuk harga K_0 , K_1 , K_2 , dan K_3 pada persamaan (2.6) adalah fungsi dari temperatur yang dapat diperoleh dari perhitungan pada tabel 3 lampiran 1.

dimana :

$$E_0 = 0,20972706E + 03$$

$$E_1 = - 0,77382052E + 04$$

$$E_2 = 0,05627680E + 00$$

$$E_3 = - 0,34790000E + 02$$

Untuk nilai koefisien B_0 , B_1 , B_2 , C_0 , C_1 , dan C_2 dapat dilihat pada tabel 4 lampiran 1.

Untuk *enthalpy saturated liquid* pada absorben dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$h_{sl,a} = F_0 + F_1 T + F_2 T^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Nilai konstanta numerik persamaan di atas (F_0 , F_1 , F_2) dapat dilihat dari tabel 5 lampiran 1. Sedangkan untuk *enthalpy saturated liquid* dan *saturated vapor* dari R22 ditunjukkan dengan rumus berikut:

$$h_{sl,r} = F_0 + F_1 T + F_2 T^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

$$h_{sv,r} = F_0 + F_1 T + F_2 T^2 \dots\dots\dots (2.9)$$

Nilai konstanta numerik persamaan di atas (F_0 , F_1 , F_2) dapat dilihat dari tabel 6 lampiran 1.

2.4.3 Tekanan parsial R22 pada *evaporator*

Salah satu perbedaan antara mesin pendingin difusi absorpsi dengan mesin pendingin kompresi uap adalah adanya fenomena kenaikan tekanan yang terjadi pada *evaporator*. Pada mesin pendingin difusi absorpsi terjadi peningkatan tekanan pada *outlet evaporator* jika dibandingkan dengan tekanan *inletnya*. Hal ini terjadi karena di dalam *evaporator*, R22 yang berfase cair akan menyerap panas dari lingkungan sehingga akan terjadi perubahan fase dari cair jenuh menjadi uap jenuh yang mengakibatkan terjadinya kenaikan volume spesifik R22. Disisi lain laju aliran massa R22 yang sangat rendah jika dibandingkan dengan laju perubahan fase dari R22 yang cepat akan mengakibatkan kenaikan tekanan pada *outlet evaporator*.

Pada mesin pendingin difusi absorpsi, tekanan parsial R22 pada *outlet evaporator* diasumsikan *saturated vapor pressure* sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\ln Pr(T) = E_0 + E_1/T + E_2 T + E_3 \ln T \text{ (Fatouh, 1992)} \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana:

$$E_0 = 0,20972706E + 03$$

$$E_1 = -0,77382052E + 04$$

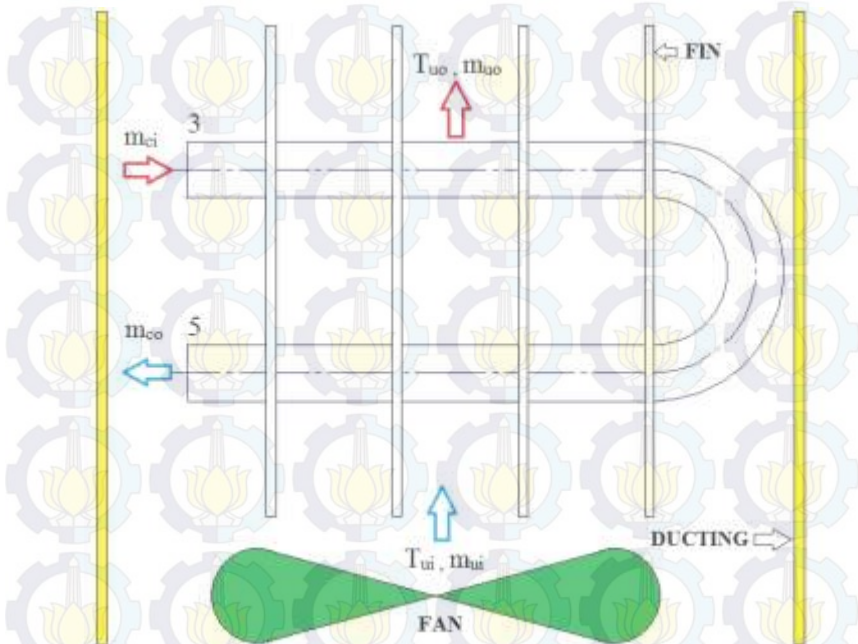
$$E_2 = 0,05627680E + 00$$

$$E_3 = -0,34790000E + 02$$

2.5 Performa Pada Mesin Difusi Absorbsi

2.5.1 Laju aliran massa refrijeran (\dot{m}_{ref})

Untuk menentukan laju aliran masa refrijeran dilakukan analisa secara termodinamis pada kondenser. Karena pada sistem pendingin ini refrijeran dari kondenser langsung menuju *evaporator* dan *heatloss* diabaikan, maka nilai laju aliran massa yang masuk *evaporator* sama dengan laju aliran massa yang keluar kondenser. Fluida yang melalui kondenser merupakan R22 yang mempunyai konsentrasi massa mendekati 100% ($X=1$) setelah dimurnikan oleh *rectifier*. Laju aliran keluar dari kondenser ini berupa R22 cair yang akan menuju *inlet evaporator* menjadi laju aliran massa refrijeran.



Gambar 2.9 Penampang kondenser dan laju aliran massa refrijeran

Persamaan kesetimbangan energi untuk meninjau gambar di atas adalah :

$$E_{in} + E_g - E_{out} = E_{st} \dots\dots\dots (2.11)$$

Karena tidak ada energi bangkitan dan kerja yang masuk atau keluar sehingga didapatkan :

$$\dot{Q}_{udara} = \dot{Q}_{kondensor} \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana :

$$\dot{Q}_{udara} = \dot{m}_{udara} \cdot c_p \text{ udara} (T_{uo} - T_{ui}) \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\dot{Q}_{kondensor} = \dot{m}_c (h_3 - h_5) \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\dot{m}_{ci} = \dot{m}_{co} = \dot{m}_c = \dot{m}_{ref} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan (2.13), (2.14) dan (2.15) ke persamaan (2.12) maka akan didapatkan persamaan laju alir massa refrijeran yaitu:

$$\dot{m}_{ref} = \frac{\text{udara} \cdot V \cdot A \cdot C_p \text{ udara} \cdot (T_{uo} - T_{ui})}{(h_3 - h_5)} \dots\dots\dots (2.16)$$

dimana :

\dot{m}_{ref} = Laju aliran massa refrijeran (kg/s)

udara = massa jenis udara (kg/m³)

V = kecepatan udara melewati kondensor (m/s)

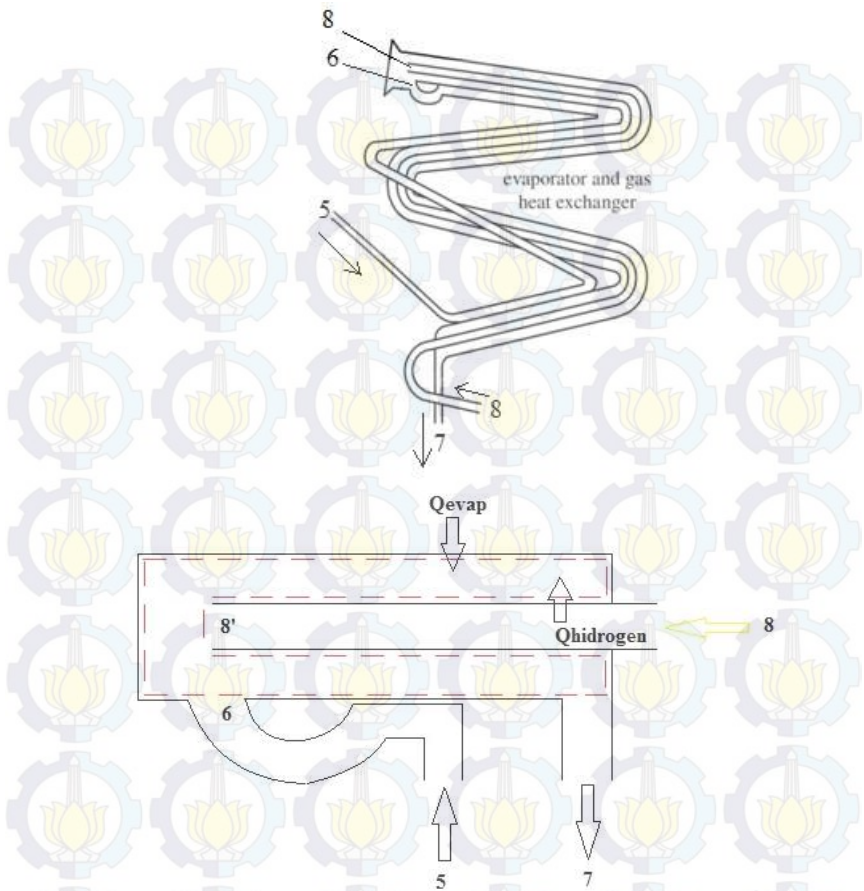
$C_p \text{ udara}$ = kalor spesifik udara (kJ/kg.K)

T_{uo} = Temperatur udara keluar *ducting* kondensor (K)

T_{ui} = Temperatur udara masuk *ducting* kondensor (K)

2.5.2 Kapasitas pendinginan (\dot{Q}_{evap})

Untuk mempermudah perhitungan dan pemahaman pada *evaporator* secara termodinamis maka dibuat skema pipa *evaporator* tipe *dobular tube* dan *gas heat exchanger* seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Control volume evaporator tipe dobular tube*

Dari persamaan *energy balance* di *evaporator* didapatkan persamaan :

$$0 = \dot{Q}_{evap} + \dot{Q}_{hidrogen} - \dot{m}_6(h_7 - h_6) \dots\dots\dots (2.17)$$

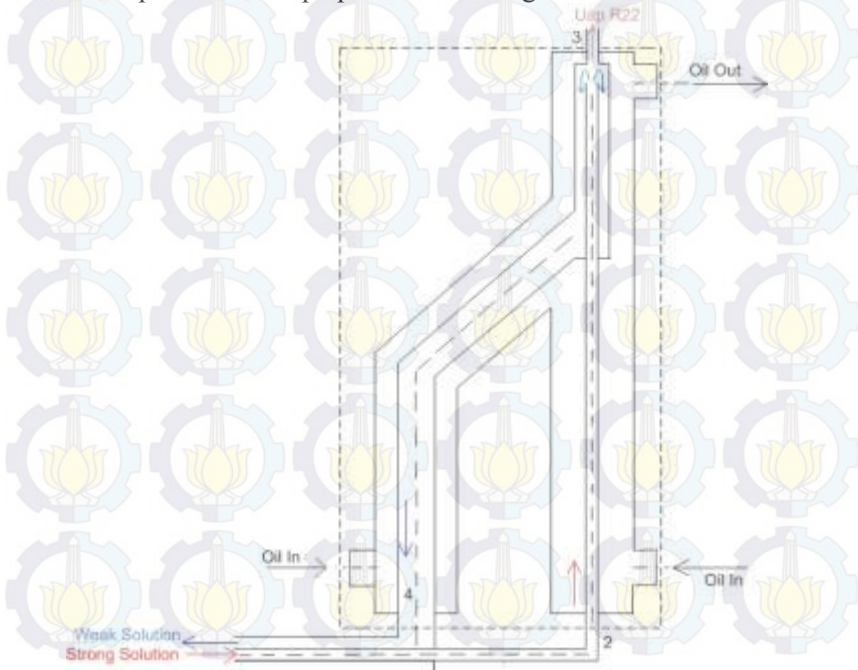
$$\dot{Q}_{evap} + \dot{m}_{hidrogen}(h_8 - h_8) = \dot{m}_6(h_7 - h_6) \dots\dots\dots (2.18)$$

Karena hidrogen pada fase *superheated* sudah jauh dari kurva jenuh, maka nilai *enthalpy*nya tidak terpengaruh sehingga persamaan untuk kapasitas pendinginan di *evaporator* didapatkan sebagai berikut:

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_7 - h_6) \dots\dots\dots (2.19)$$

2.5.3 Kalor yang diserap *generator* (\dot{Q}_{gen}) dan laju aliran massa larutan di *generator*

Untuk mempermudah perhitungan pada *generator* maka sama seperti pada *evaporator* dibuat juga skema *control volume* *generator* seperti terlihat pada gambar 2.10. Dengan menggunakan persamaan *mass balance* dan *energy balance* maka akan didapatkan beberapa persamaan sebagai berikut :



Gambar 2.11 *Control volume* pada *Generator*

Dari persamaan *mass balance* di *generator* didapatkan persamaan

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_4 + \dot{m}_3 \dots\dots\dots (2.20)$$

Mass balance untuk campuran R22 dan DMF di *generator*

$$X_{ss} \dot{m}_2 = X_{ws} \dot{m}_4 + X_{ref} \dot{m}_3 \dots\dots\dots (2.21)$$

dimana :

$$\begin{aligned} \dot{m}_2 &= \dot{m}_{ss} \\ \dot{m}_3 &= \dot{m}_{ref} \\ \dot{m}_4 &= \dot{m}_{ws} \end{aligned} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan substitusi persamaan (2.22) ke persamaan (2.21) maka akan didapatkan persamaan laju aliran massa *weak solution* :

$$\dot{m}_{ws} = \dot{m}_{ref} \frac{(X_{ref} - X_{ss})}{(X_{ss} - X_{ws})} \dots\dots\dots (2.23)$$

dimana :

X_{ss} = Fraksi massa untuk *strong solution*

X_{ws} = Fraksi massa untuk *weak solution*

X_{ref} = Fraksi massa untuk R22

Dengan menggunakan persamaan *energy balance* di *generator* maka didapatkan persamaan :

$$0 = \dot{Q}_{gen} + \dot{m}_2 \cdot h_2 - \dot{m}_3 \cdot h_3 - \dot{m}_4 \cdot h_4 \dots\dots\dots (2.24)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.22) ke persamaan (2.24) akan diperoleh persamaan berikut :

$$\dot{Q}_{gen} = \dot{m}_{ref} \cdot h_3 + \dot{m}_{ws} \cdot h_4 - \dot{m}_{ss} \cdot h_2 \dots\dots\dots (2.25)$$

Selain perumusan diatas, bisa juga digunakan persamaan berdasarkan kesetimbangan energi pada *generator* dengan menggunakan laju perpindahan panas pada *thermal oil* :

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{gen} &= \dot{Q}_{oil} \\ \dot{Q}_{oil} &= \dot{m}_{oil} C_p (\Delta T_{oil}) \dots\dots\dots (2.26) \end{aligned}$$

2.5.4 Efisiensi *generator* (η_{gen})

Efisiensi *generator* yaitu hasil perbandingan antara panas yang diserap *generator* dan panas yang diberikan *heater* pada *generator*. Berikut ini persamaan untuk mencari nilai efisiensi *generator*.

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{\dot{Q}_{\text{gen}}}{\dot{Q}_{\text{heater}}} \dots\dots\dots (2.27)$$

dimana :

$$\dot{Q}_{\text{heater}} = V.I \text{ (watt)} \dots\dots\dots (2.28)$$

2.5.5 COP (*coefficient of performance*)

Parameter unjuk kerja mesin pendingin yang paling umum adalah *coefficient of performance* (COP) yaitu merupakan perbandingan antara *output* yang diinginkan ($\dot{Q}_{\text{evaporator}}$) terhadap *input* yang dibutuhkan ($\dot{Q}_{\text{generator}}$). COP untuk siklus refrigerasi difusi absorpsi nilainya kurang dari 1. Sehingga persamaannya dapat ditulis sebagai berikut

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{evap}}}{\dot{Q}_{\text{oil}}} \dots\dots\dots (2.29)$$

BAB III METODOLOGI

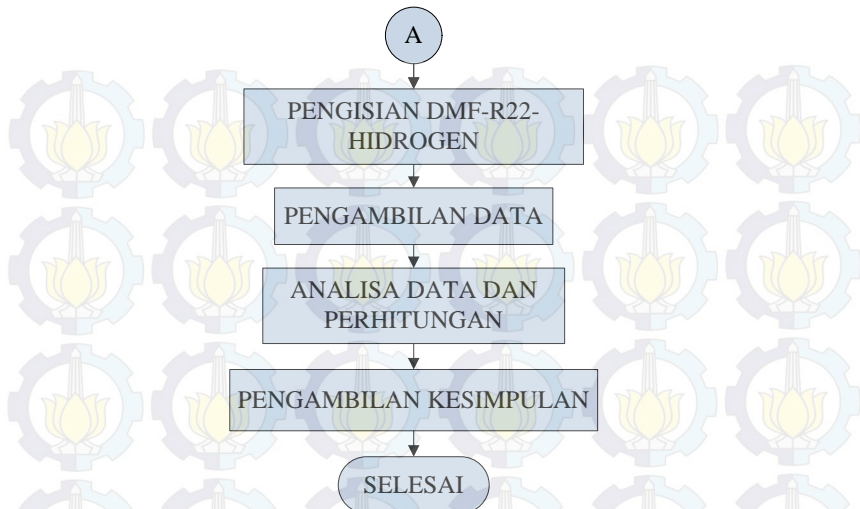
3.1 Proses Penelitian

Proses penelitian dimulai dengan studi literatur pada beberapa penelitian sebelumnya dan beberapa referensi yang berhubungan dengan sistem difusi absorpsi. Tahap selanjutnya dilakukan *redesign* sumber masukan panas pada *generator* dan pembuatan kontrol pada mesin. Setelah itu dilanjutkan dengan tahap pengisian DMF-R22 dan gas *inert* hidrogen. Kemudian dilakukan pengambilan data untuk selanjutnya dilakukan perhitungan dan analisa. Tahap terakhir diambil kesimpulan dari proses penelitian ini.

3.2 Sistematika Penelitian

Berikut ini diagram alir sistematika penelitian pada tugas akhir ini.

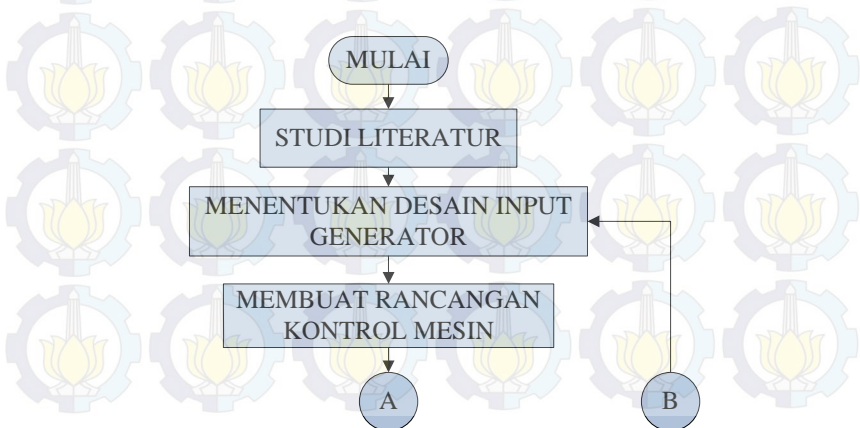


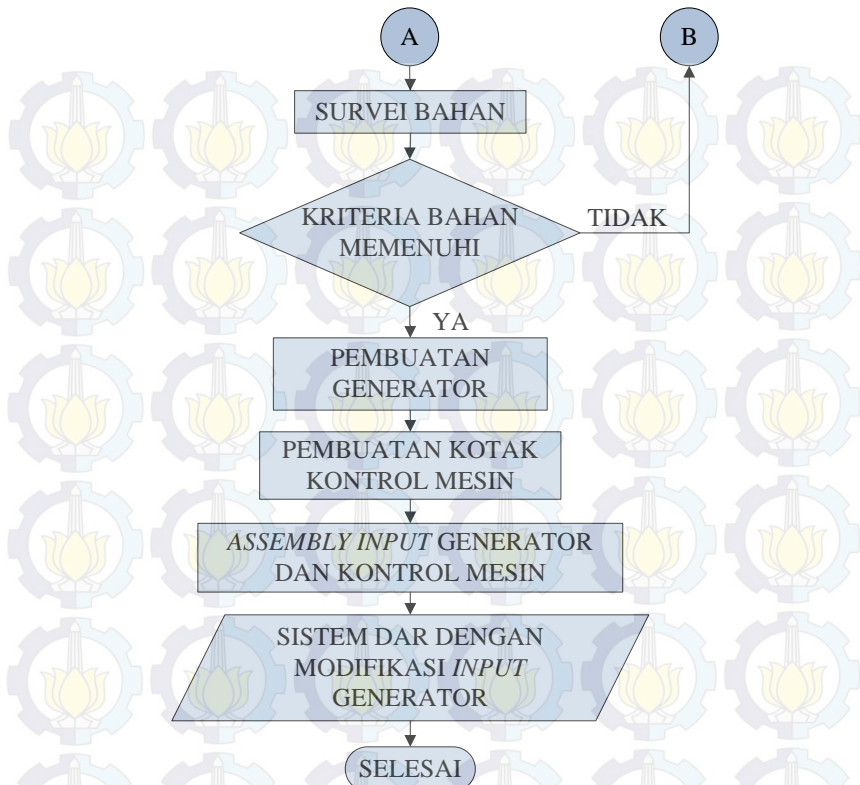


Gambar 3.1 *Flowchart* sistematika penelitian

3.3 *Flowchart* Redesain *Input Generator* dan Pembuatan Kontrol Mesin

Berikut ini diagram alir proses redesain *input* pada *generator* dan proses pembuatan kontrol mesin difusi absorpsi.





Gambar 3.2 *Flowchart* redesain *input generator* dan pembuatan kontrol mesin

3.4 Skema dan Peralatan Penunjang Pengujian

Pada penelitian tugas akhir mesin ini digunakan mesin pendingin difusi absorpsi tipe *wine cellar* serta beberapa alat penunjang untuk mempermudah peneliti dalam melakukan pengujian alat, menjalankan alat maupun pengambilan data.

3.4.1 Skema sistem mesin pendingin difusi absorpsi

Penelitian dilakukan di laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas di jurusan Teknik mesin ITS menggunakan mesin difusi absorpsi tipe *wine cellar*. Berikut skema mesin difusi absorpsi.



Gambar 3.3 Skema mesin pendingin difusi absorpsi

Keterangan :

1. Kondensor
2. *Pressure gauge*
3. *Rectifier*
4. *Outlet thermal oil*
5. *Generator*
6. Absorber
7. *Inlet thermal oil*
8. Tangki *reservoir*
9. *Fan* Kondensor
10. Kabin
11. *Evaporator*
12. Voltmeter
13. Saklar
14. Amperemeter
15. *Thermocontrol*
16. *Heater* elektrik
17. Tangki *thermal oil*

3.4.2 Alat ukur yang digunakan

1. *Pressure Gauge*
Alat ini digunakan untuk mengukur tekanan dalam sistem.
2. *Thermocouple*
Sensor ini digunakan untuk mengukur temperatur permukaan pipa pada titik-titik yang telah ditentukan.
 - Type : K
 - Range temperatur : $(-200)^{\circ}\text{C}$ hingga 350°C
3. Anemometer
Alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang melewati kondensor.

4. *Data Acquisition Unit*

Alat ini digunakan untuk merekam, mengolah dan menyajikan data temperatur beberapa titik yang diinginkan dengan sistem yang sudah terkoneksi dengan *Personal Computer* ataupun laptop.

5. *Flowmeter*

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya debit fluida yang masuk ke *generator*

3.4.3 Peralatan untuk pengisian R22-DMF dan hidrogen

1. Gas Nitrogen

Untuk menguji kebocoran pada sistem DAR

2. *Vacuum Pump*

Memvakum udara yang berada di dalam mesin pendingin sehingga diharapkan dapat tercapai kondisi ideal sistem dimana hanya terdapat R22, DMF dan hidrogen di dalam sistem.

3. Timbangan Digital

Menentukan massa dari R22 dan massa dari DMF yang akan digunakan dalam sistem DAR

4. Alat Injeksi (Alat Suntik)

Menginjeksi cairan DMF ke dalam sistem.

5. *Charge Manifold*

Alat ini digunakan untuk menyalurkan gas hidrogen dan R22 ke dalam sistem DAR.

3.4.4 Peralatan *safety*

1. Sarung tangan

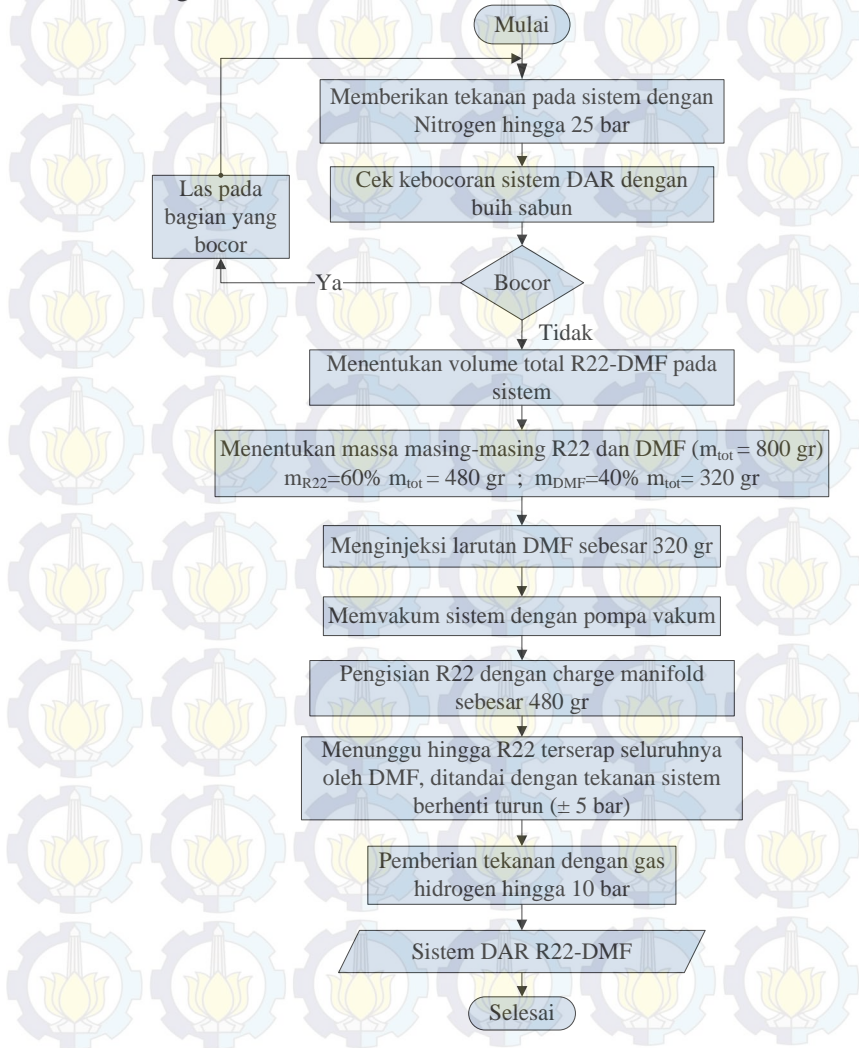
Melindungi tangan agar tidak terkontaminasi dengan R22 dan DMF saat pengisian pada sistem.

2. Masker

Melindungi dari bahaya bau DMF pada saat pengisian DMF dilakukan.

3.5 Prosedur Pengisian R22-DMF-Gas Hidrogen

Berikut ini adalah *flowchart* prosedur pengisian R22-DMF dan hidrogen.



Gambar 3.4 *Flowchart* pengisian R22-DMF-gas hidrogen

Untuk memperjelas *flowchart* pengisian R22-DMF-Hidrogen, berikut ini penjelasan langkah langkah pengisian sistem.

- a. Kosongkan sistem dari sisa-sisa DMF penelitian sebelumnya.
- b. Masukkan nitrogen pada sistem sampai tekanan bernilai 25 bar melalui katup yang terdapat pada *reservoir*.
- c. Setelah mencapai tekanan 25 bar lakukan pengecekan kebocoran pada sistem dengan cara memberikan sabun yang telah dicampur dengan air pada setiap pipa dan sambungan pada sistem.
- d. Periksa dengan teliti tanda tanda kebocoran pada sistem dengan munculnya gelembung.
- e. Jika terjadi kebocoran tandai kebocoran tersebut dengan selotip.
- f. Buka katup pada *reservoir* agar gas nitrogen keluar dari sistem sampai tekanan pada *pressure gauge* menunjukkan nilai nol.
- g. Lakukan pengelasan pada titik kebocoran.
- h. Setelah dilakukan pengelasan, ulangi langkah b-d.
- i. Apabila masih terjadi kebocoran, lakukan pengelasan ulang pada sistem sampai tidak terdapat kebocoran.
- j. Apabila sudah tidak terjadi kebocoran maka dapat dilakukan proses penginjeksian cairan DMF dengan berat 320 gram. Proses injeksi dilakukan menggunakan alat injeksi (alat suntik) melalui katup pada *reservoir*.
- k. Jika DMF sudah terinjeksi ke dalam sistem langkah selanjutnya adalah melakukan vakum pada sistem dengan menggunakan pompa vakum. Proses vakum nitrogen dilakukan dengan bantuan selang yang mempunyai 3 cabang dan katup pada setiap cabangnya (*charge manifold*). Cabang pertama dipasang pada katup *reservoir*, cabang kedua disambungkan pada pompa vakum dan cabang ketiga disambungkan pada tabung R22.

- l. Saat proses pemvakuman, buka katup pada cabang pompa vakum dan katup *reservoir*. Tutup katup pada cabang tabung R22. Nyalakan pompa vakum dan amati *pressure gauge* sampai jarum *pressure gauge* sudah menunjukkan angka -1 bar. Lakukan proses vakum selama kurang lebih 1 jam.
- m. Setelah sistem dalam kondisi vakum, berikan es batu disekeliling *reservoir* dan pipa pada seluruh sistem, letakkan timbangan digital dibawah tabung R22, tutup katup pada pompa vakum lalu buka katup pada cabang R22. R22 akan masuk ke dalam sistem secara alami karena sifat R22 yang mengalir dari temperatur panas ke temperatur dingin. Perhatikan timbangan digital dan *pressure gauge* sampai massa R22 berkurang sebanyak 480 gram.
- n. Jika R22 sudah berkurang 480 gram, maka tutup katup pada tabung R22. Lepaskan (*charge manifold*) dari katup *reservoir*.
- o. Tunggu sampai tekanan pada sistem menunjukan angka kurang lebih 5 bar.
- p. Langkah selanjutnya adalah memasukan gas hidrogen ke dalam sistem melalui katup pada *reservoir*. Lakukan *flushing* pada saat pemasangan selang hidrogen ke katup *reservoir* agar tidak ada oksigen yang ikut masuk kedalam sistem. Lakukan pengisian hidrogen sampai tekanan dalam sistem menunjukkan angka 10 bar.

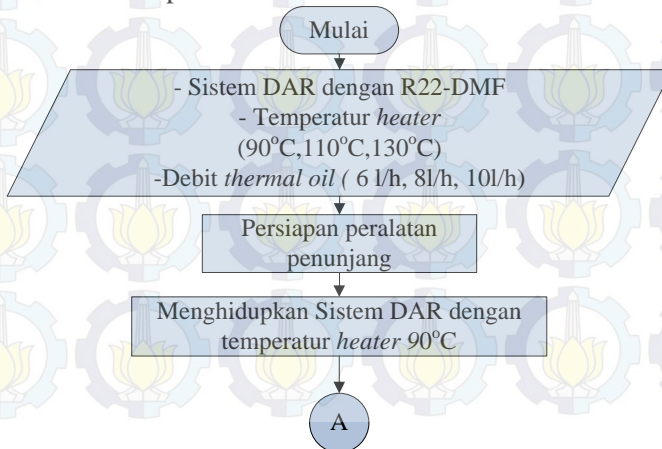
3.6 Parameter Yang Diukur

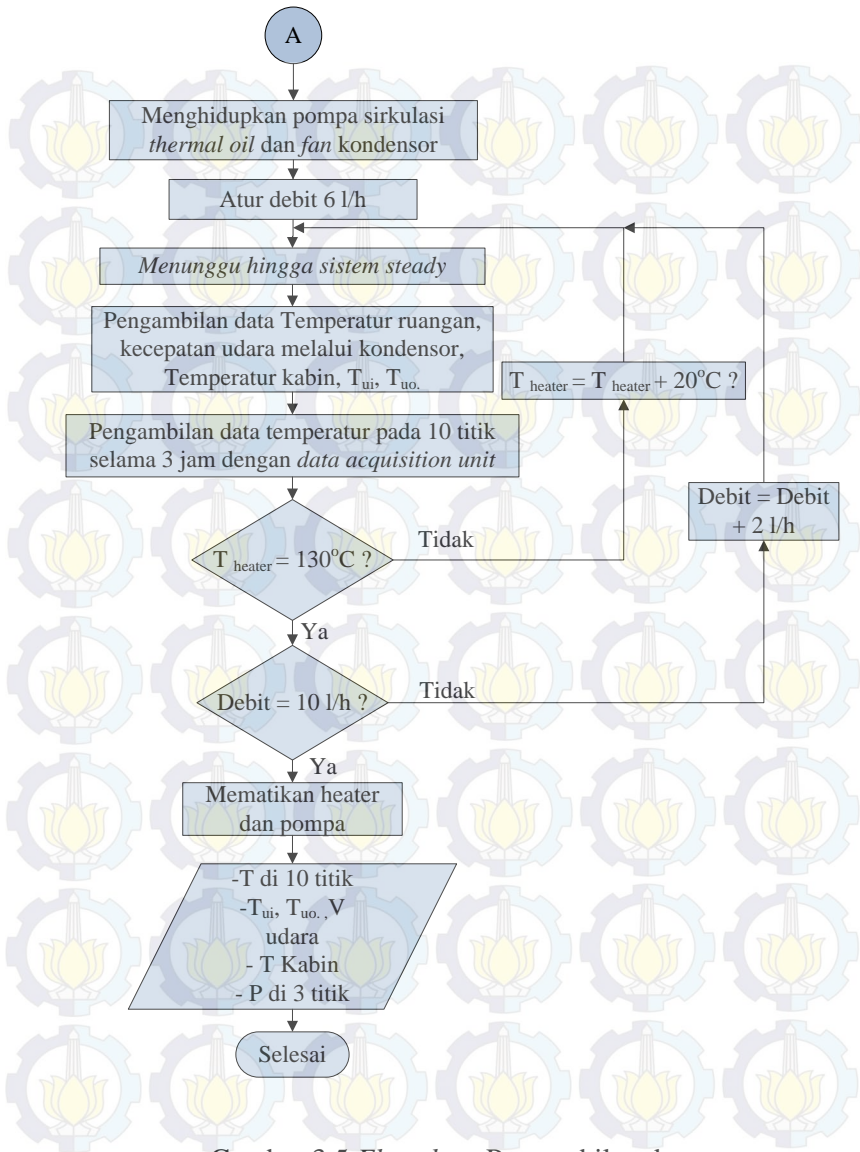
Untuk mengetahui hasil performa dari mesin DAR ini maka dilakukan pengukuran pada beberapa titik yang telah ditentukan dengan parameter temperatur dan tekanan Berikut titik-titik yang akan dilakukan pengukuran.

1. Temperatur *inlet thermal oil* (T_{ig})
2. Temperatur *outlet thermal oil* (T_{og})
3. Temperatur *outlet reservoir* (T_1)
4. Temperatur dan tekanan *strong solution* masuk *bubble pump* (T_2) dan (P_2)
5. Temperatur *weak solution* (T_4)
6. Temperatur dan tekanan *inlet* kondensor (T_3) dan (P_3)
7. Temperatur *outlet* kondensor (T_5)
8. Temperatur *inlet evaporator* (T_6)
9. Temperatur *outlet evaporator* (T_7)
10. Temperatur dan tekanan hidrogen *outlet absorber* (T_8) dan (P_8)

3.7 Prosedur Pengambilan Data

Berikut ini diagram alir proses pengambilan data pada mesin difusi absorpsi.





Gambar 3.5 Flowchart Pengambilan data

Untuk lebih memperjelas *flowchart* pengambilan data pada gambar 3.5, tahap pengambilan data dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu tahap persiapan, tahap pengambilan data dan tahap akhir. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

1. Tahap persiapan

- a. Periksa kondisi kabel pada kontrol mesin telah terisolasi dengan baik dan pemasangan kabel sudah sesuai dengan gambar desain kelistrikan.
- b. Pasang 10 *thermocouple* pada 10 titik ukur seperti yang telah dituliskan pada sub bab 3.6 dengan menggunakan kabel *ties*.
- c. Hubungkan *thermocouple* pada *data acquisition unit*.
- d. Hubungkan *data acquisition unit* dengan laptop yang sudah terinstall software pendukung. Pastikan fungsi kerja *data acquisition unit* berjalan baik dengan melakukan pengukuran pada semua titik *thermocouple*.
- e. Melakukan instalasi saluran *thermal oil* antara tangki pemanas dengan *generator* dengan memasang pompa sirkulasi, *needle valve*, *flowmeter* dan selang $\frac{3}{4}$ "
- f. Masukkan 10 liter *thermal oil* ke tangki pemanas.
- g. Pasang *heater electric* pada tangki pemanas.
- h. Periksa fungsi kontrol mesin dengan menyalakan saklar lalu mengatur *thermocontrol* pada temperatur tertentu. Periksa fungsi amperemeter dan voltmeter dengan melihat perubahan posisi jarum. Pastikan fungsi *switch on-off* pada *thermocontrol* berjalan baik.
- i. Pasang *fan* pada kondensor.
- j. Nyalakan pompa sirkulasi untuk memeriksa kondisi sirkulasi dan kebocoran pada saluran *thermal oil*.
- k. Lakukan perbaikan saluran apabila terjadi kebocoran dengan tambahan klem selang.

1. Setelah semua langkah diatas dilakukan maka tahap pengambilan data bisa dilakukan.
2. Tahap pengambilan data
 - a. Nyalakan mesin pendingin dengan menyalakan saklar pada posisi *on*.
 - b. Nyalakan *fan* pada kondensor
 - c. Atur *thermocontrol* pada angka 90°C .
 - d. Nyalakan pompa sirkulasi *thermal oil* dan atur debit 6 liter/jam.
 - e. Tunggu sampai sistem ada pada kondisi *steady*.
 - f. Lakukan pengambilan data – data pendukung yang diperlukan seperti kecepatan udara melalui kondensor, T_{ui} , T_{uo} , temperatur kabin dan temperatur udara lingkungan.
 - g. Lakukan pengambilan data temperatur pada setiap titik ukur dengan menggunakan *data acquisition unit*.
 - h. Lakukan pengukuran data tekanan pada 3 titik pengukuran.
 - i. Setelah 3 jam pengambilan data, naikan temperatur *heater* sebesar 20°C .
 - j. Lakukan langkah d-h sampai temperatur *heater* 130°C
 - k. Naikan debit sebesar 2 liter/jam.
 - l. Lakukan langkah c-j debit 10 liter/jam.
3. Tahap akhir
 - a. Hentikan proses pada mesin pendingin sistem DAR dengan cara mematikan kontrol mesin, pompa sirkulasi dan *fan*.
 - b. Lakukan analisa data dan perhitungan



BAB IV

PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

4.1 Data Hasil Eksperimen

Setelah dilakukan proses percobaan pada mesin pendingin difusi absorpsi maka didapatkan beberapa data seperti kecepatan udara melalui kondensor, tekanan total sistem, temperatur pada 12 titik pengukuran dan debit fluida *thermal oil*. Data lain yang berhubungan dengan sistem pendingin ini diperoleh dari spesifikasi dan literatur yang relevan.

Pengambilan data dilakukan dengan memberikan 2 variasi utama yaitu variasi temperatur *thermal oil* pada suhu 90°C, 110°C dan 130°C serta variasi debit pada saluran fluida *thermal oil* dengan variasi 6 l/h, 8 l/h dan 10 l/h. Data hasil percobaan pada setiap variasi temperatur dan debit *thermal oil* dapat dilihat pada lembar lampiran 2.

4.2 Perhitungan Data

Pada perhitungan data eksperimen mesin pendingin difusi absorpsi ini digunakan satu contoh data yaitu pada variasi debit *thermal oil* 6 l/h dengan temperatur 130°C. Berikut ini adalah data yang diperoleh dari proses pengukuran yang telah dilakukan :

- Debit fluida *thermal oil* = 6 liter/jam
- Temperatur *inlet thermal oil* (T_{ig}) = 118,0 °C
- Temperatur *outlet thermal oil* (T_{og}) = 99,3 °C
- Temperatur *outlet reservoir* (T_1) = 35,1 °C
- Temperatur *inlet bubble pump* (T_2) = 41,8 °C
- Temperatur *inlet kondensor* (T_3) = 57,1 °C
- Temperatur *weak solution* (T_4) = 79,0 °C
- Temperatur *outlet kondensor* (T_5) = 30,9 °C
- Temperatur *inlet evaporator* (T_6) = 16,6 °C
- Temperatur *outlet evaporator* (T_7) = 22,3 °C
- Temperatur *outlet absorber* (T_8) = 31,0 °C
- Temperatur udara masuk kondensor (T_{ui}) = 26,0 °C

- Temperatur udara keluar kondensor (T_{uo}) = 27,3 °C
- Tekanan total sistem = 12,7 bar
- Kecepatan udara melewati kondensor (v) = 1,99 m/s
- Konsentrasi *strong solution* (X_{ss}) = 0,6
- Massa jenis udara (ρ) = 1,1614 kg/m³
- Kalor spesifik rata-rata udara (C_p) = 1,007 kJ/kg.K
- Daya *heater generator* = 1000 Watt
- Luas *ducting* kondensor (A) = 0,0384 m²
- M_{mix} = 159,56 g/mol

Asumsi yang digunakan dalam perhitungan data ini adalah sebagai berikut :

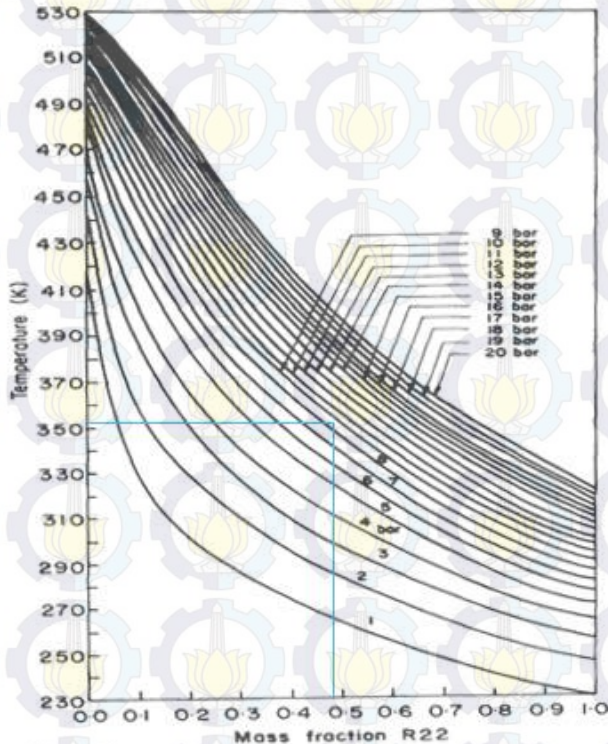
- Konsentrasi R22 yang melewati kondensor 100%.
- Refrijeran keluar dari kondensor dalam fase *saturated liquid*.
- Refrijeran keluar dari *evaporator* dalam fase *saturated vapor*.

Selain data-data diatas diperlukan data tambahan yang diperoleh dari melihat tabel pada jurnal ataupun referensi yang lain. Untuk data keseluruhan tiap titik dapat dilihat pada Lampiran 2.

4.2.1 Nilai konsentrasi *weak solution*

Untuk mendapatkan nilai konsentrasi *weak solution* dapat digunakan diagram P-T-X campuran R22-DMF (agarwal,1982) dengan cara memasukkan data tekanan dan temperatur *weak solution* (T_4). Tekanan total sistem difusi absorpsi mempunyai tekanan total sistem sama disemua titik. Begitu juga dengan tekanan pada titik 4 *weak solution*. Dengan asumsi bahwa tekanan hidrogen yang bekerja pada *weak solution* di titik 4 sama dengan tekanan hidrogen yang bekerja pada *inlet evaporator* yaitu sekitar 4 bar, maka diperoleh nilai tekanan pada *weak solution* sama dengan tekanan parsial R22 di *inlet evaporator* yaitu sekitar 8,3 bar dan temperatur pada titik empat (T_4) 79,0 °C

(352,15 K). Sehingga bila ditarik garis horizontal ke kanan sampai bertemu dengan tekanan 8,3 bar, maka akan diperoleh nilai konsentrasi dari *weak solution* (X_{ws}) sebesar 0,48. Untuk lebih jelas maka dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Diagram P-T-X untuk mencari konsentrasi *weak solution*. (Agarwal, 1982).

4.2.2 Nilai *enthalpy* di setiap titik pengamatan

Untuk menentukan *enthalpy* di setiap titik pengamatan yang dilalui refrigerant R22, dapat menggunakan tabel 1 lampiran 1 (*Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid-Vapor)*):

Temperature Table) (Moran, 1998) untuk mencari nilai h_5 , h_6 , h_7 serta tabel 2 lampiran 1 (*Properties of Superheated Refrigerant 22 Vapor*) (Moran, 1998) untuk mencari nilai h_3 .

- $T_3 = 57,1\text{ }^\circ\text{C}$ dan $P_3 = 12,7\text{ bar}$ didapatkan $h_3 = 280,82\text{ kJ/kg}$
- $T_5 = 31,0\text{ }^\circ\text{C}$ didapatkan $h_5 = 82,87\text{ kJ/kg}$
- $T_6 = 16,6\text{ }^\circ\text{C}$ didapatkan $h_6 = 64,93\text{ kJ/kg}$
- $T_7 = 22,3\text{ }^\circ\text{C}$ didapatkan $h_7 = 257,02\text{ kJ/kg}$

Sedangkan untuk menentukan *enthalpy* di titik T_2 dan T_4 yang merupakan campuran R22-DMF digunakan persamaan (2.4) hingga (2.8) (Fattouh, 1992). Sebagai contoh perhitungan *enthalpy weak solution* digunakan data di titik 4 dimana $T_4 = 79,0\text{ }^\circ\text{C} = 352,15\text{ K}$ dan konsentrasi *weak solution* ($X_{ws} = 0,48$).

Dengan menggunakan persamaan (2.5) dibawah ini maka nilai *enthalpy strong solution* pada titik 4 dapat diketahui :

$$h(T, X) = h_{sl,r} X + h_{sl,a} (1 - X) + h_{mix}$$

Untuk menentukan $h_{sl,r}$ digunakan persamaan (2.8) karena pada kondisi ini berupa fase *saturated liquid* :

$$h_{sl,r} = F_0 + F_1 T + F_2 T^2$$

Dengan memasukkan konstanta F_0 , F_1 , F_2 dari tabel 2.5 maka diperoleh :

$$h_{sl,r}(352,15) = 1966,7 + (-12,1 \times 352,15) + (0,02 \times 352,15^2)$$

$$h_{sl,r} = 185,877\text{ kJ/kg.}$$

Untuk menentukan $h_{sl,a}$ digunakan persamaan (2.7) :

$$h_{sl,a} = F_0 + F_1 T + F_2 T^2$$

Dengan memasukkan konstanta F_0 , F_1 , F_2 dari tabel 2.4 maka diperoleh :

$$h_{sl,a}(352,15) = -352,3 + (1,317 \times 352,15) + (0,00124 \times 352,15^2)$$

$$h_{sl,a} = 265,253\text{ kJ/kg.}$$

Untuk menentukan h_{mix} digunakan persamaan (2.6) :

$$h_{mix}(T, X) = \left(\frac{((1-X) RT^2)}{M_{mix}} \right) (K_0 Y_0 + K_1 Y_1 + K_2 Y_2 + K_3 Y_3)$$

Untuk mendapatkan nilai dari K_0 , K_1 , K_2 , K_3 dapat dilihat dari persamaan pada tabel 2.2. Untuk nilai koefisien B_0 , B_1 , B_2 , C_0 , C_1 , dan C_2 dapat dilihat pada tabel 2.3. Sedangkan nilai E_1 , E_2 dan E_3 tercantum pada sub.bab 2.4.2. Maka akan didapatkan nilai sebagai berikut :

$$K_0 = B_0/T^2 + 2C_0/T^3 - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$$

$$K_0 = ((-1817)/(352,15^2)) + 2 \times ((-135585)/(352,15^3)) - ((-7738)/(352,15^2)) + 0.0563 + (-34.79/352,15)$$

$$K_0 = -0,00096$$

$$K_1 = B_1/T^2 + 2C_1/T^3$$

$$K_1 = ((-4303)/(352,15^2)) + 2 \times ((625797)/(352,25^3))$$

$$K_1 = -0,00604$$

$$K_2 = B_2/T^2 + 2C_2/T^3$$

$$K_2 = ((9878)/(352,15^2)) + 2 \times ((-1435546)/(352,25^3))$$

$$K_2 = 0,01391$$

Untuk mencari nilai Y_0 , Y_1 , Y_2 , Y_3 menggunakan persamaan pada subbab 2.4.2 sebagai berikut :

$$Y_0 = X / (1 - X)$$

$$Y_0 = 0,48 / (1 - 0,48)$$

$$Y_0 = 0,92308$$

$$Y_1 = (X / (1 - X)) + \ln(1 - X)$$

$$Y_1 = (0,48 / (1 - 0,48)) + \ln(1 - 0,48)$$

$$Y_1 = 0,26915$$

$$Y_2 = (1 / (1 - X)) - (1 - X) + 2\ln(1 - X)$$

$$Y_2 = (1 / (1 - 0,48)) - (1 - 0,48) + 2\ln(1 - 0,48)$$

$$Y_2 = 0,09522$$

$$Y_3 = (1 / (1 - X)) + (X^2 / 2) + 2X + 3\ln(1 - X)$$

$$Y_3 = (1 / (1 - 0,48)) + (0,48^2 / 2) + 2 \times 0,48 + 3\ln(1 - 0,48)$$

$$Y_3 = 0,40130$$

Dengan memasukkan semua nilai ke persamaan (2.6) maka akan diperoleh $h_{\text{mix}} = -0,0249 \text{ kJ/kg}$. Sehingga didapatkan nilai *enthalpy* pada titik 4 :

$$h(T, X) = h_{\text{sl,r}} X + h_{\text{sl,a}} (1 - X) + h_{\text{mix}}$$

$$h(352, 15, 0,48) = (185,877 \times 0,48) + 265,253 \times (1 - 0,48) + -0,0249$$

$$h_4 = 227,128 \text{ kJ/kg}$$

Sedangkan untuk mencari nilai *enthalpy strong solution* digunakan data di titik 2 dimana $T_2 = 41,8^\circ\text{C} = 314,95 \text{ K}$ dengan konsentrasi *strong solution* ($X_{\text{ss}} = 0,6$). Dengan tahapan yang sama untuk mencari *enthalpy weak solution*, maka akan didapatkan nilai $h_2 = 164,222 \text{ kJ/kg}$

4.2.3 Perhitungan tekanan parsial R22 pada *evaporator*

Dari hasil eksperimen pada mesin pendingin difusi absorpsi, terjadi peningkatan tekanan parsial R22 pada *evaporator* yaitu dari *inlet* sebesar 8.2732 bar ($T_6 = 16,6^\circ\text{C}$) dan pada *outlet* menjadi 9,7131 bar ($T_7 = 22,3^\circ\text{C}$) yang didapatkan dengan melihat Tabel 1 di Lampiran 1. Terjadinya peningkatan tekanan di dalam *evaporator* ini terjadi akibat laju aliran massa dari R22 yang sangat rendah yaitu sebesar 0.587 gr/s berbanding terbalik dengan laju perubahan fase R22 dari fase cair ke fase uap yang cepat. Dengan volume spesifik uap jenuh R22 yang jauh lebih besar daripada fase cair jenuhnya, maka akan mengakibatkan naiknya tekanan pada *outlet evaporator*. Untuk menghitung besarnya tekanan pada *outlet evaporator* juga dapat digunakan persamaan 2.10 sebagai berikut :

$$\ln \text{Pr}(T) = E_0 + E_1/T + E_2 T + E_3 \ln T$$

Dimana :

$$E_0 = 0,20972706E + 03$$

$$E_1 = -0,77382052E + 04$$

$$E_2 = 0,05627680E + 00$$

$$E_3 = -0,34790000E + 02$$

$$\ln Pr (295,45) = 209,72706 + (-7738,2052 / 295,45) + (0,05627680 \times 295,45) + (-34,79 \times \ln 295,45)$$

$$\ln Pr (295,24) = 2,2599 \text{ bar}$$

$$Pr = 9,582 \text{ bar}$$

Jika nilai diatas dibandingkan dengan nilai yang didapatkan dari tabel Tabel 1 di Lampiran 1, tidak terdapat perbedaan yang cukup jauh dan bisa dibilang hasil perhitungan tekanan menggunakan rumus dan tabel adalah sama.

4.2.4 Perhitungan laju aliran massa refrijeran

Perhitungan nilai laju aliran massa refrijeran berdasarkan pada keseimbangan energi pada kondensor. Dimana pada kondensor diberikan *ducting* dengan tujuan untuk mempermudah perhitungan laju aliran massa refrijeran. Prinsip keseimbangan energi yang digunakan adalah dengan mengasumsikan bahwa panas yang dikeluarkan oleh refrijeran pada kondensor dan panas yang diterima udara yang melewati *fin* pada kondensor adalah sama.

Sehingga laju aliran massa refrijeran dapat dihitung sebagai berikut :

Luas penampang *ducting* kondensor adalah:

$$A = P \times L$$

$$= 0,32 \text{ m} \times 0,12 \text{ m} = 0,0384 \text{ m}^2$$

Laju aliran massa refrijeran didapatkan dari persamaan (2.16) yaitu:

$$\dot{m}_{\text{ref}} = \frac{\text{udara} \cdot V \cdot A \cdot C_p \text{ udara} \cdot (T_{\text{uo}} - T_{\text{ui}})}{(h_3 - h_5)}$$

$$= \frac{1,164 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,99 \text{ m/s} \cdot 0,0384 \text{ m}^2 \cdot 1,007 \text{ kJ/kg.K} (300,45 - 299,15) \text{ K}}{(280,82 - 82,87) \text{ kJ/kg}}$$

$$= 0,00058693 \text{ kg/s} = 0,587 \text{ gr/s}$$

4.2.5 Perhitungan kapasitas pendinginan

Kapasitas pendinginan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.19.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{evap}} &= \dot{m}_{\text{ref}}(h_7 - h_6) \\ &= 0,00058693 \text{ kg/s} (257,02 - 64,93) \text{ kJ/kg} \\ &= 112,75 \text{ Watt}\end{aligned}$$

4.2.6 Perhitungan kalor yang diserap generator

Perhitungan panas/kalor yang diserap oleh generator dihitung dengan menggunakan persamaan 2.23 dan persamaan 2.25.

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{ws}} &= \dot{m}_{\text{ref}} \frac{(X_{\text{ref}} - X_{\text{ss}})}{(X_{\text{ss}} - X_{\text{ws}})} \\ &= 0,00058693 \text{ kg/s} \times ((1 - 0,6)/(0,6 - 0,48)) \\ &= 0,00195644 \text{ kg/s} \\ \dot{Q}_{\text{gen}} &= \dot{m}_{\text{ref}} \cdot h_3 + \dot{m}_{\text{ws}} \cdot h_4 - \dot{m}_{\text{ss}} \cdot h_2 \\ &= 0,00058693 \text{ kg/s} \cdot 280,82 \text{ kJ/kg} + 0,00195644 \text{ kg/s} \\ &\quad \cdot 227,128 \text{ kJ/kg} - 164,222 \text{ kJ/kg} \\ &= 191,504 \text{ Watt}\end{aligned}$$

4.2.7 Perhitungan efisiensi generator

Perhitungan efisiensi generator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.26 dan persamaan 2.27.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{heater gen}} &= V \cdot I \\ &= 1000 \text{ Watt} \\ \eta_{\text{gen}} &= \frac{\dot{Q}_{\text{gen}}}{\dot{Q}_{\text{heater}}} \\ &= 191,504 \text{ Watt} / 1000 \text{ Watt} = 0,192\end{aligned}$$

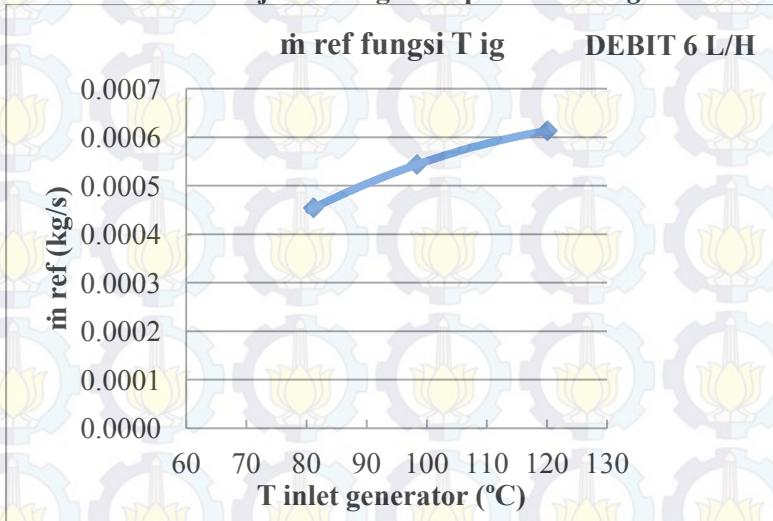
4.2.8 Perhitungan COP

Perhitungan *Coefficient Of Perfomance* atau yang lebih dikenal dengan istilah COP dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.28.

$$\begin{aligned}\text{COP} &= \frac{\dot{Q}_{\text{evap}}}{\dot{Q}_{\text{gen}}} \\ &= 112,75 \text{ Watt} / 191,504 \text{ Watt} \\ &= 0,589\end{aligned}$$

4.3 Pembahasan Grafik

4.3.1 Grafik \dot{m} refrijeran fungsi temperatur *inlet generator*



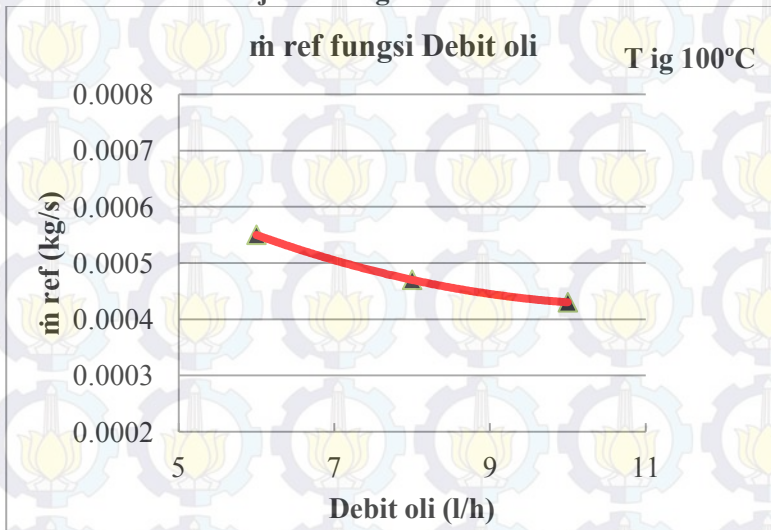
Gambar 4.2 Grafik laju aliran massa refrijeran fungsi temperatur *inlet generator*

Grafik diatas merupakan grafik hubungan rata-rata laju aliran massa refrijeran dengan temperatur *inlet generator* untuk debit fluida *thermal oil* 6 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik. Semakin tinggi temperatur

inlet generator maka laju aliran massa refrijeran akan semakin naik. Nilai laju alir massa tertinggi yaitu sebesar 0,000721 kg/s pada temperatur *inlet generator* 120°C.

Fenomena ini terjadi karena semakin besar panas yang diberikan pada *generator* maka akan semakin banyak refrijeran yang menguap dimana semakin banyak refrijeran yang menguap maka laju alir massa refrijeran akan semakin naik. Hal ini yang mengakibatkan dengan naiknya temperatur *inlet generator* maka laju aliran massa refrijeran akan semakin naik.

4.3.2 Grafik \dot{m} refrijeran fungsi debit *thermal oil*



Gambar 4.3 Grafik laju aliran massa refrijeran fungsi debit *thermal oil*

Grafik diatas merupakan grafik hubungan rata-rata laju aliran massa refrijeran fungsi debit *thermal oil* untuk temperatur *inlet generator* 100°C. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung turun. Tetapi nilai penurunan laju alir massanya semakin kecil seiring dengan naiknya debit. Semakin tinggi debit *thermal oil* maka laju aliran massa refrijeran akan

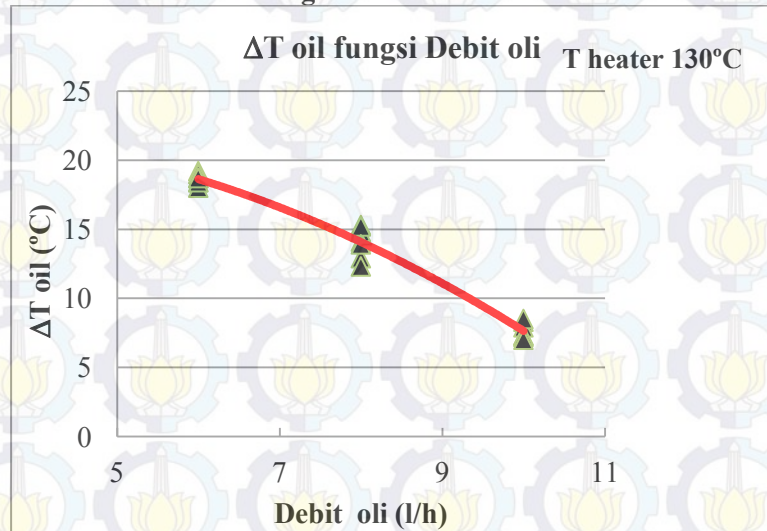
semakin rendah. Nilai laju alir massa tertinggi yaitu sebesar 0,00055 kg/s pada debit *thermal oil* 6 liter/jam.

Hal ini berhubungan dengan persamaan :

$$\dot{Q}_{oil} = \dot{m}_{oil} \cdot C_{p_{oil}} \cdot \Delta T_{oil}$$

Berdasarkan rumus tersebut, pada \dot{m}_{oil} yang semakin tinggi maka ΔT_{oil} akan semakin turun. Jumlah penurunan ΔT_{oil} yang lebih besar dari jumlah kenaikan \dot{m}_{oil} akan mengakibatkan turunnya laju perpindahan panas dari oli ke *generator* sehingga laju alir refrijeran akan semakin turun. Fenomena ini terjadi karena semakin besar debit *thermal oil* maka panas yang diberikan pada *generator* akan semakin kecil dikarenakan nilai *effectiveness* pada *generator* yang semakin mengecil sehingga semakin sedikit juga refrijeran yang menguap. Dengan semakin sedikitnya refrijeran yang menguap maka laju alir massa refrijeran akan semakin turun.

4.3.3 Grafik ΔT_{oil} fungsi debit *thermal oil*



Gambar 4.4 Grafik ΔT_{oil} fungsi debit *thermal oil*

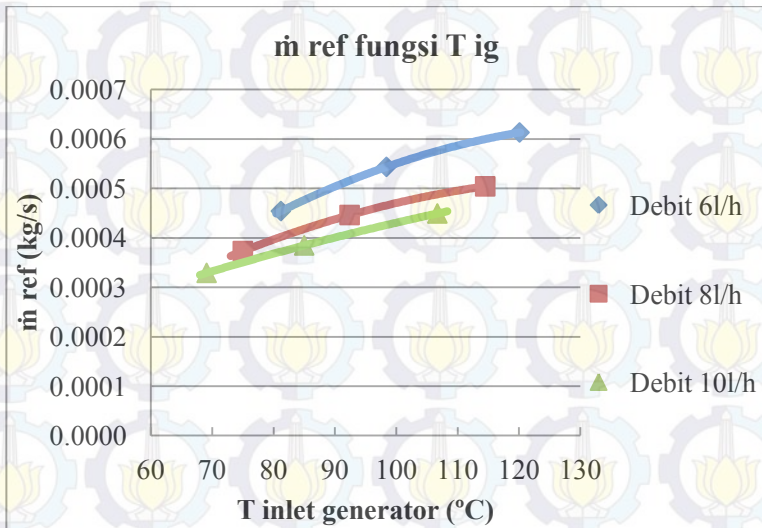
Grafik 4.4 merupakan grafik hubungan antara selisih temperatur *inlet* dan *outlet generator* (ΔT_{oil}) dengan debit *thermal oil* untuk temperatur heater 130°C. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung turun. Semakin tinggi debit *thermal oil* maka selisih temperatur *inlet* dan *outlet generator* akan semakin rendah. Nilai ΔT_{oil} tertinggi yaitu sebesar 19,2°C pada debit *thermal oil* 6 liter/jam.

Dari grafik diatas kita bisa melihat pengaruh dari naiknya debit *thermal oil* terhadap selisih temperatur *inlet* dan *outlet generator* dimana berdasarkan rumus :

$$\dot{Q}_{oil} = \dot{m}_{oil} \cdot C_{p_{oil}} \cdot \Delta T_{oil}$$

Pada \dot{m}_{oil} yang semakin tinggi maka ΔT_{oil} akan semakin turun. Jumlah penurunan ΔT_{oil} yang lebih besar dari jumlah kenaikan \dot{m}_{oil} akan mengakibatkan turunnya laju perpindahan panas dari oli ke *generator* sehingga laju alir refrijeran akan semakin turun. Fenomena ini terjadi akibat nilai *effectiveness* dari *generator* yang semakin kecil pada saat debit semakin tinggi sehingga penyerapan panas pada *generator* cenderung mengecil.

4.3.4 Grafik \dot{m} refrijeran fungsi temperatur *inlet generator*



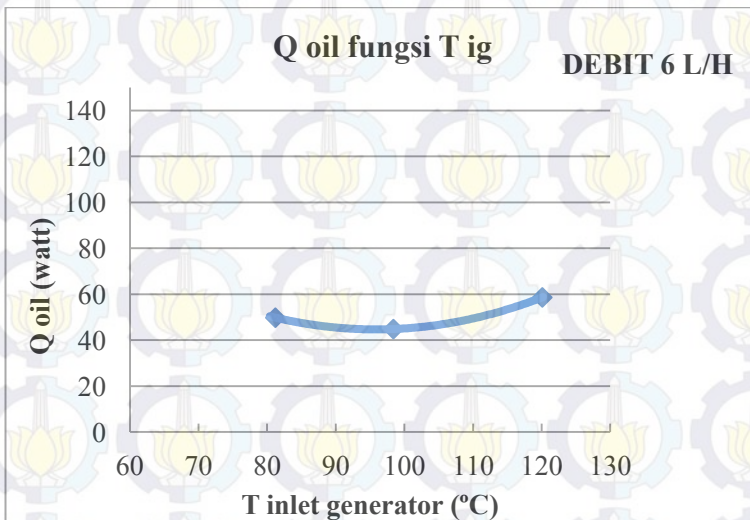
Gambar 4.5 Grafik laju aliran massa refrijeran fungsi temperatur *inlet generator*

Grafik diatas merupakan grafik gabungan hubungan antara rata-rata laju aliran massa refrijeran dengan temperatur *inlet generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik untuk semua variasi debit. Nilai dari laju aliran massa refrijeran meningkat seiring bertambahnya temperatur *inlet generator*. Laju aliran massa refrijeran tertinggi rata rata berada pada debit 6 liter/jam diikuti debit 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Nilai laju aliran massa refrijeran tertinggi yaitu pada debit *thermal oil* 6 liter/jam dan temperatur *inlet generator* sebesar 120°C dengan nilai 0,00072 kg/s.

Berdasarkan pembahasan grafik sebelumnya kita bisa menyimpulkan bahwa penyebab dari naiknya laju alir massa refrijeran adalah naiknya temperatur *inlet generator* dan turunnya

debit *thermal oil*. Hal ini dikarenakan panas yang diberikan *thermal oil* bertemperatur tinggi terhadap *generator* akan lebih besar jika dibandingkan dengan *thermal oil* yang bertemperatur lebih rendah yang mengakibatkan semakin cepatnya penguapan refrijeran sehingga semakin tinggi laju alirannya. Sedangkan pengaruh debit adalah dengan semakin naiknya debit *thermal oil*, maka tingkat penyerapan panas di *generator* justru akan semakin kecil. Hal ini diakibatkan oleh turunnya nilai *effectiveness* pada *generator* seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Turunnya tingkat penyerapan pada *generator* akan membuat semakin sedikit refrijeran yang menguap sehingga mengakibatkan turunnya laju alir massa refrijeran.

4.3.5 Grafik \dot{Q} oil fungsi temperatur inlet generator



Gambar 4.6 Grafik laju perpindahan panas *oil* pada *generator* fungsi temperatur inlet *generator*

Grafik diatas merupakan grafik hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas *oil* pada *generator* dengan temperatur

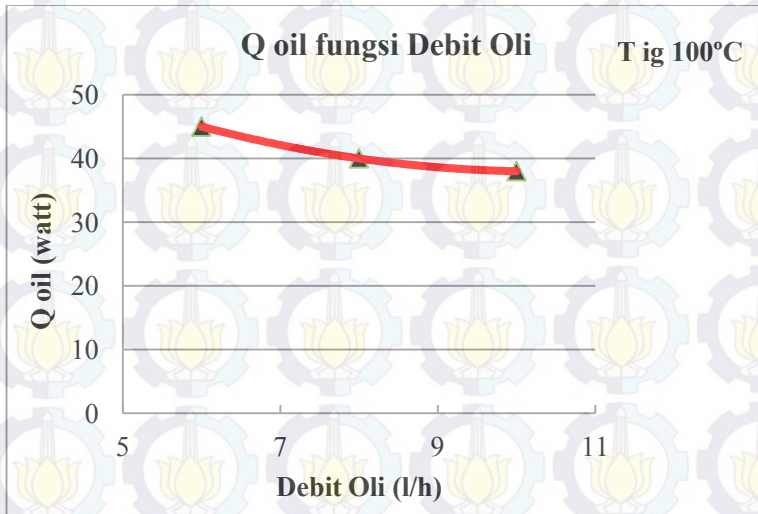
inlet generator untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka laju perpindahan panas *oil* pada *generator* akan semakin naik. Nilai laju perpindahan panas tertinggi yaitu sebesar 58,62 watt pada temperatur *inlet generator* 120°C.

Setelah dilakukan perhitungan pada semua data yang didapatkan dari eksperimen didapatkan grafik seperti pada gambar 4.6 diatas. Analisa grafik 4.6 menggunakan rumus laju perpindahan panas pada *generator* berikut ini:

$$\dot{Q}_{\text{gen}} = \dot{m}_{\text{ref}} \cdot h_3 + \dot{m}_{\text{ws}} \cdot h_4 - \dot{m}_{\text{ss}} \cdot h_2$$

Berdasarkan rumus diatas, ada beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya laju perpindahan panas pada *generator*. Faktor pertama adalah dengan naiknya temperatur *inlet generator* maka akan mengakibatkan kenaikan temperatur pada titik 3 dan 4 yang secara langsung akan menaikkan nilai *enthalpy* pada titik 3 dan 4 yang mana berbanding lurus dengan kenaikan laju perpindahan panas pada *generator*. Faktor selanjutnya adalah dengan naiknya temperatur *inlet generator* maka akan mengakibatkan kenaikan temperatur pada titik 2 sehingga nilai *enthalpy* dititik 2 akan semakin naik yang akan mengakibatkan turunnya laju perpindahan panas pada *generator*. Tetapi jumlah kenaikan *enthalpy* titik 2 tidak terlalu signifikan bisa dibandingkan dengan kenaikan pada titik 3 dan 4 sehingga nilai *enthalpy* dititik 2 tidak berpengaruh pada penurunan laju perpindahan panas *generator*. Fenomena tersebut terjadi karena semakin tingginya panas *inlet generator* maka panas yang diterima *generator* juga tentu akan semakin tinggi. Hal ini berkaitan dengan *effectiveness* pada *generator* yang akan semakin tinggi seiring dengan naiknya temperatur *inlet generator*.

4.3.6 Grafik \dot{Q} oil fungsi debit *thermal oil*



Gambar 4.7 Grafik laju perpindahan panas *oil* pada *generator* fungsi debit *thermal oil*

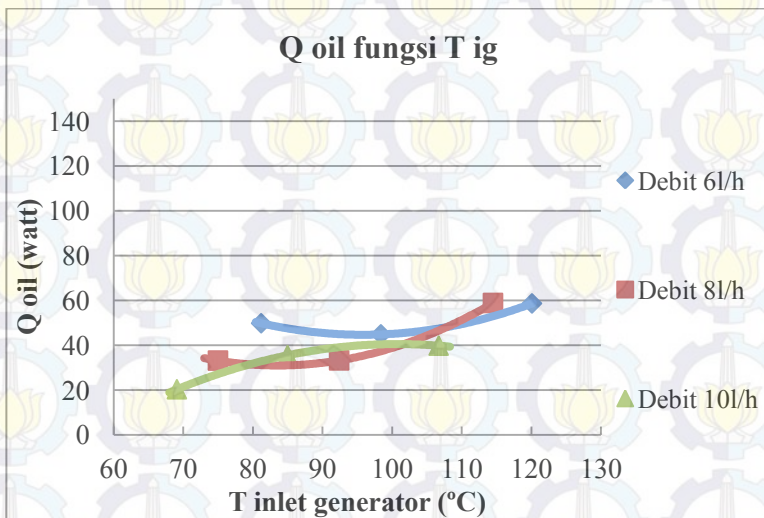
Grafik diatas merupakan grafik hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas *oil* pada *generator* dengan debit *thermal oil* untuk temperatur *inlet generator* sebesar 100°C. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren cenderung turun secara perlahan kemudian stabil. Semakin tinggi debit *thermal oil* maka laju perpindahan panas *generator* akan semakin turun. Nilai laju perpindahan panas tertinggi yaitu sebesar 45 watt pada debit 6 liter/jam.

Fenomena ini terjadi karena semakin tinggi debit *thermal oil* akan mengakibatkan laju perpindahan panas oli ke *generator* akan semakin kecil seperti diperlihatkan pada persamaan berikut ini :

$$\dot{Q}_{oil} = \dot{m}_{oil} \cdot C_{p_{oil}} \cdot \Delta T_{oil}$$

Berdasarkan rumus tersebut, dengan naiknya debit maka akan membuat \dot{m}_{oil} semakin tinggi sehingga ΔT_{oil} akan semakin turun karena hubungannya berbanding terbalik. Jumlah penurunan ΔT_{oil} yang lebih besar dari jumlah kenaikan \dot{m}_{oil} akan mengakibatkan turunnya laju perpindahan panas dari oli ke *generator*. Fenomena ini dipengaruhi oleh nilai *effectiveness generator* yang akan semakin kecil seiring dengan naiknya debit oli. Hal ini yang menyebabkan laju perpindahan panas *oil* pada *generator* cenderung makin kecil.

4.3.7 Grafik \dot{Q}_{oil} fungsi temperatur inlet *generator*



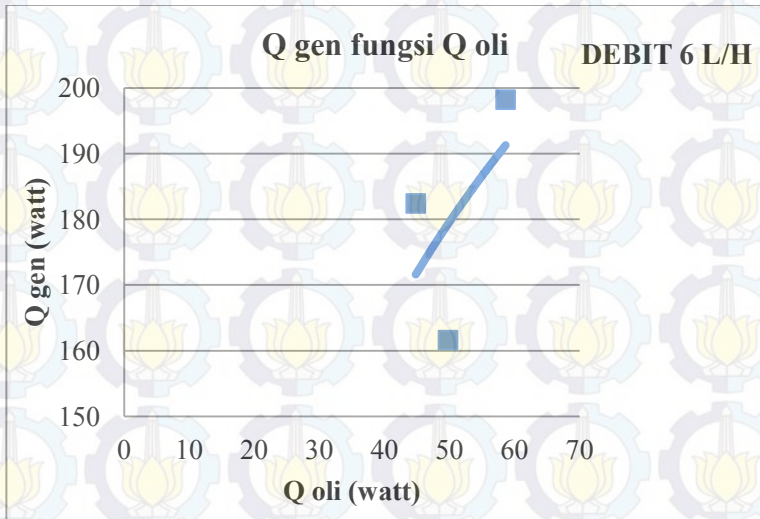
Gambar 4.8 Grafik laju perpindahan panas *generator* fungsi temperatur inlet *generator*

Grafik diatas merupakan grafik gabungan hubungan antara rata-rata laju aliran perpindahan panas oli pada *generator* dengan temperatur inlet *generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Dapat dilihat pada grafik cenderung

naik untuk semua variasi debit. Pada grafik terlihat dengan semakin besar nilai temperatur *inlet generator* maka nilai laju perpindahan panas oli pada *generator* akan semakin meningkat. Laju perpindahan panas paling tinggi rata rata berada pada debit *thermal oil* 6 liter/jam, diikuti 8 liter/jam dan terakhir 10 liter/jam. Nilai laju perpindahan panas paling tinggi yaitu sebesar 58,62 watt pada debit *thermal oil* 6 liter/jam dan temperatur *inlet generator* sebesar 120°C.

Berdasarkan pembahasan grafik sebelumnya kita bisa menyimpulkan bahwa penyebab dari naiknya laju perpindahan panas dari oli pada *generator* adalah naiknya temperatur *inlet generator* dan turunnya debit *thermal oil*. Hal ini dikarenakan panas yang diberikan *thermal oil* bertemperatur tinggi terhadap *generator* akan lebih besar jika dibandingkan dengan *thermal oil* yang bertemperatur lebih rendah yang diakibatkan oleh naiknya temperatur di titik 2, 3 dan 4. Sedangkan pengaruh debit adalah dengan semakin naiknya debit *thermal oil* maka tingkat penyerapan panas pada *generator* cenderung lebih kecil. Fenomena ini dipengaruhi oleh nilai *effectiveness generator* yang akan semakin kecil seiring dengan naiknya debit oli. Hal ini yang menyebabkan laju perpindahan panas pada *oil* pada *generator* cenderung makin kecil seiring naiknya debit *thermal oil*.

4.3.8 Grafik \dot{Q}_{oil} fungsi $\dot{Q}_{generator}$



Gambar 4.9 Grafik laju perpindahan panas *generator* fungsi laju perpindahan panas oli

Grafik 4.9 adalah grafik hubungan antara laju perpindahan panas pada *generator* dengan laju perpindahan panas oli. Grafik cenderung memperlihatkan kenaikan laju perpindahan panas pada *generator* yang lebih besar dibandingkan dengan kenaikan laju perpindahan panas oli. Perhitungan laju perpindahan oli dihitung berdasarkan perumusan :

$$\dot{Q}_{oil} = \dot{m}_{oil} \cdot C_{p_{oil}} \cdot \Delta T_{oil}$$

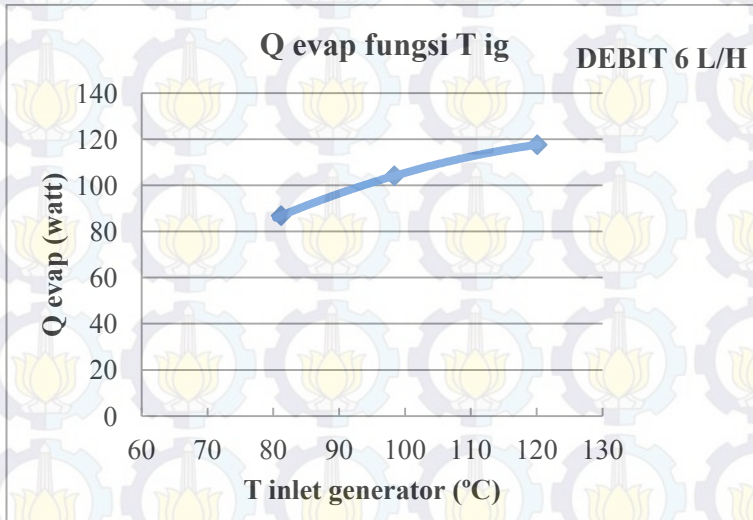
Berbeda dengan laju perpindahan pada *generator* yang dilakukan dengan perumusan :

$$\dot{Q}_{gen} = \dot{m}_{ref} \cdot h_3 + \dot{m}_{ws} \cdot h_4 - \dot{m}_{ss} \cdot h_2$$

Dimana pada perhitungan diatas dipengaruhi oleh laju alir massa refrijeran. Perbedaan nilai laju perpindahan panas kemungkinan terjadi karena kesalahan rumus yang digunakan dalam

perhitungan sehingga mengakibatkan energi yang diterima justru lebih besar daripada energi diberikan.

4.3.9 Grafik \dot{Q} evaporator fungsi temperatur inlet generator



Gambar 4.10 Grafik laju perpindahan panas *evaporator* fungsi temperatur *inlet generator*

Grafik diatas merupakan grafik hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas *evaporator* dengan temperatur *inlet generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka laju perpindahan panas *evaporator* akan semakin naik. Nilai laju perpindahan panas *evaporator* tertinggi yaitu sebesar 139,06 watt pada temperatur *inlet generator* 120°C.

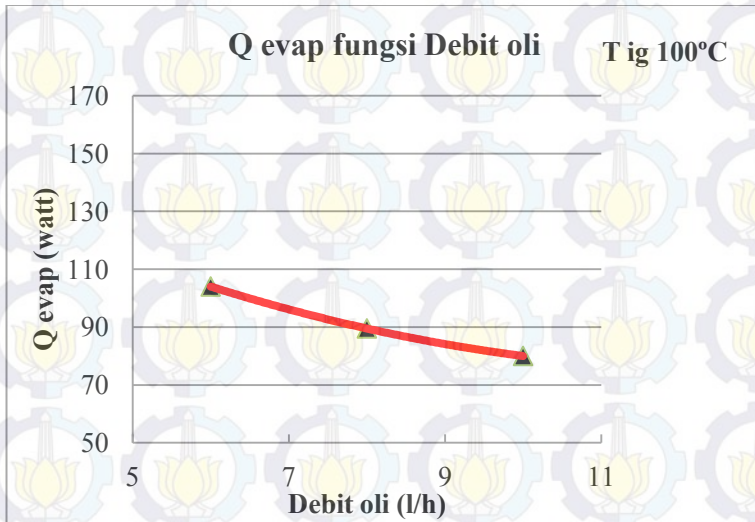
Setelah dilakukan perhitungan pada semua data yang didapatkan dari eksperimen didapatkan grafik seperti pada

gambar 4.10. Berikut ini rumus laju perpindahan panas pada *evaporator* :

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_7 - h_6)$$

Berdasarkan rumus diatas, ada dua faktor yang mempengaruhi besarnya laju perpindahan panas pada *evaporator*. Faktor pertama adalah dengan naiknya temperatur *inlet generator* maka akan mengakibatkan naiknya laju alir massa refrijeran yang mana akan berbanding lurus dengan kenaikan laju perpindahan panas pada *evaporator*. Hal ini sudah dijelaskan sebelumnya pada subbab 4.3.1. Faktor kedua adalah selisih antara nilai *enthalpy* di titik 7 dan 6. Berdasarkan data yang didapatkan, selisih nilai dari *enthalpy* di titik 7 dan 6 cenderung tidak berubah terhadap temperatur *inlet generator*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa laju perpindahan panas pada *evaporator* sangat dipengaruhi oleh laju alir massa refrijeran. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka mengakibatkan semakin banyak refrijeran yang bisa menguap dari *generator* sehingga laju alir massa refrijeran akan semakin naik. Semakin banyak jumlah refrijeran yang masuk kedalam *evaporator* maka semakin banyak juga kalor yang bisa diserap dari lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas *evaporator* akan semakin naik.

4.3.10 Grafik \dot{Q} evaporator fungsi debit *thermal oil*



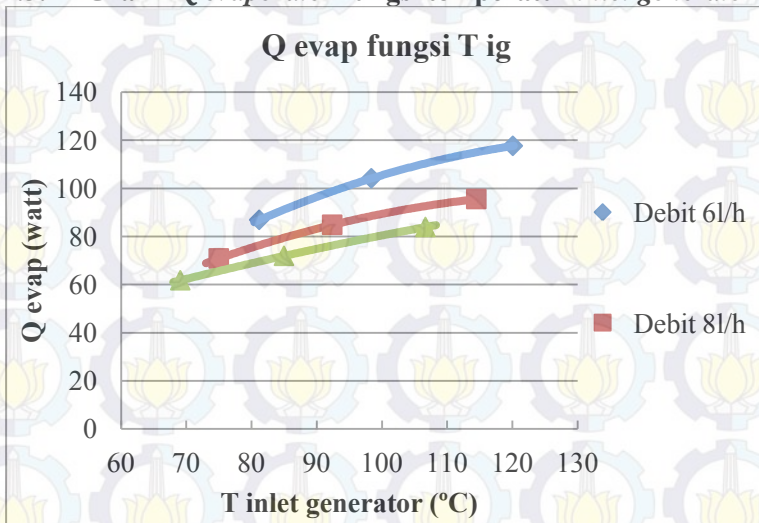
Gambar 4.11 Grafik laju perpindahan panas evaporator fungsi debit *thermal oil*

Gambar 4.11 merupakan grafik hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas *evaporator* dengan debit *thermal oil* untuk temperatur *inlet generator* sebesar 100°C. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren turun. Semakin tinggi debit *thermal oil* maka laju perpindahan panas *evaporator* akan semakin turun. Nilai laju perpindahan panas *evaporator* tertinggi yaitu sebesar 104 watt pada debit 6 liter/jam.

Fenomena ini terjadi karena semakin tinggi debit *thermal oil* akan mengakibatkan laju alir massa refrijeran menjadi semakin turun seperti yang dijelaskan pada subbab 4.3.2. Sehingga dapat disimpulkan bahwa laju perpindahan panas pada *evaporator* sangat dipengaruhi oleh laju alir massa refrijeran. Semakin besar debit *thermal oil* maka mengakibatkan semakin sedikit refrijeran yang bisa menguap dari *generator* dikarenakan

effectiveness pada *generator* yang cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Hal ini mengakibatkan laju alir massa refrijeran akan semakin turun sehingga semakin sedikit jumlah refrijeran yang masuk kedalam *evaporator* yang mengakibatkan semakin sedikit juga kalor yang bisa diserap dari lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas *evaporator* akan semakin turun.

4.3.11 Grafik \dot{Q} *evaporator* fungsi temperatur inlet *generator*



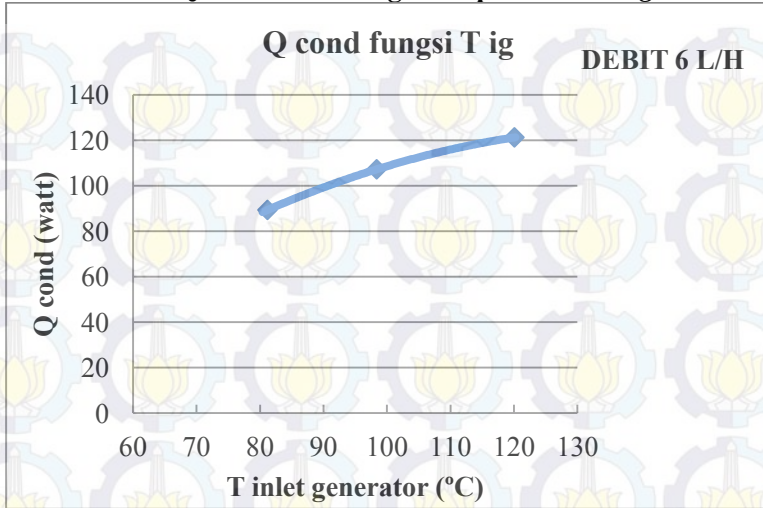
Gambar 4.12 Grafik laju perpindahan panas *evaporator* fungsi temperatur inlet *generator*

Grafik diatas merupakan grafik gabungan hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas pada *evaporator* dengan temperatur inlet *generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik untuk semua variasi debit. Nilai dari laju perpindahan panas pada *evaporator* meningkat seiring bertambahnya temperatur inlet *generator*. Laju perpindahan panas

pada *evaporator* tertinggi rata rata berada pada debit 6 liter/jam diikuti debit 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Nilai laju perpindahan panas pada *evaporator* tertinggi yaitu pada debit 6 liter/jam dan temperatur *inlet generator* 120°C dengan nilai 139,06 watt

Berdasarkan pembahasan grafik sebelumnya kita bisa menyimpulkan bahwa penyebab dari naiknya laju perpindahan panas pada *evaporator* adalah naiknya temperatur *inlet generator* dan turunnya debit *thermal oil*. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka mengakibatkan semakin banyak refrijeran yang bisa menguap dari *generator* sehingga laju alir massa refrijeran akan semakin naik. Semakin banyak jumlah refrijeran yang masuk kedalam *evaporator* maka semakin banyak juga kalor yang bisa diserap dari lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas *evaporator* akan semakin naik. Sedangkan pengaruh debit adalah semakin besar debit *thermal oil* maka mengakibatkan semakin sedikit refrijeran yang bisa menguap dari *generator* dikarenakan *effectiveness* pada *generator* yang cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Hal ini mengakibatkan laju alir massa refrijeran akan semakin turun sehingga semakin sedikit jumlah refrijeran yang masuk kedalam *evaporator* yang mengakibatkan semakin sedikit juga kalor yang bisa diserap dari lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas *evaporator* akan semakin turun.

4.3.12 Grafik \dot{Q} kondensor fungsi temperatur *inlet generator*



Gambar 4.13 Grafik laju perpindahan panas kondensor fungsi temperatur *inlet generator*

Grafik diatas merupakan grafik hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas kondensor dengan temperatur *inlet generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka laju perpindahan panas kondensor akan semakin naik. Nilai laju perpindahan panas kondensor tertinggi yaitu sebesar 142,99 watt pada temperatur *inlet generator* sebesar 120°C.

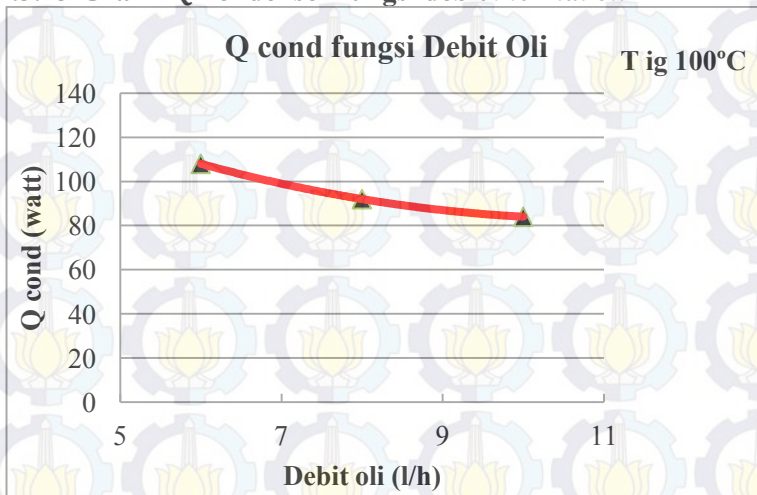
Setelah dilakukan perhitungan pada semua data yang didapatkan dari eksperimen didapatkan grafik seperti pada gambar 4.13. Berikut ini rumus laju perpindahan panas pada kondensor :

$$\dot{Q}_{\text{kondensor}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_3 - h_5)$$

Berdasarkan rumus diatas, ada dua faktor yang mempengaruhi besarnya laju perpindahan panas pada kondensor. Faktor pertama

adalah dengan naiknya temperatur *inlet generator* maka akan mengakibatkan naiknya laju alir massa refrijeran yang mana akan berbanding lurus dengan kenaikan laju perpindahan panas pada kondensor. Hal ini sudah dijelaskan sebelumnya pada subbab 4.3.1. Faktor kedua adalah selisih antara nilai *enthalpy* di titik 3 dan 5. Berdasarkan data yang didapatkan, selisih nilai dari *enthalpy* di titik 3 dan 5 cenderung stabil dan sedikit naik di beberapa titik terhadap temperatur *inlet generator*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa laju perpindahan panas pada kondensor sangat dipengaruhi oleh laju alir massa refrijeran. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka mengakibatkan semakin banyak refrijeran yang bisa menguap dari *generator* sehingga laju alir massa refrijeran akan semakin naik. Semakin banyak jumlah refrijeran yang masuk kedalam kondensor maka semakin banyak juga kalor yang bisa dilepaskan ke lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas kondensor akan semakin naik.

4.3.13 Grafik \dot{Q} kondensor fungsi debit *thermal oil*

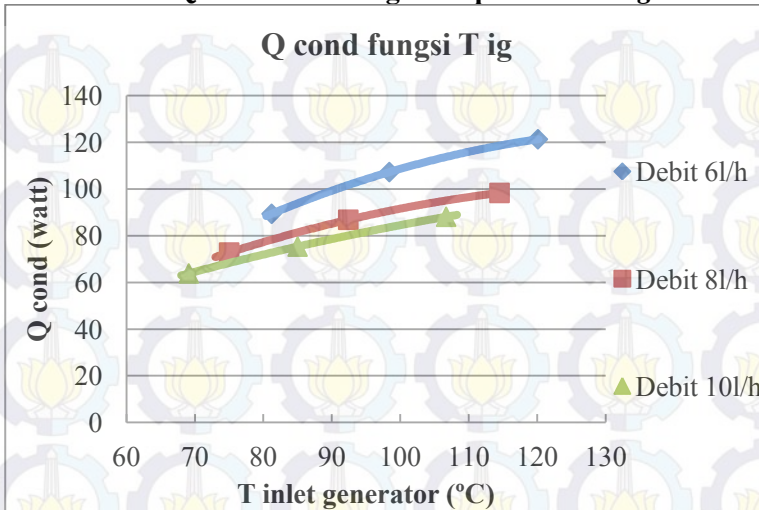


Gambar 4.14 Grafik laju perpindahan panas kondensor fungsi debit *thermal oil*

Gambar 4.14 merupakan grafik hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas kondensor dengan debit *thermal oil* untuk temperatur *inlet generator* sebesar 100°C . Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren turun. Semakin tinggi debit *thermal oil* maka laju perpindahan panas kondensor akan semakin turun. Nilai laju perpindahan panas kondensor tertinggi yaitu sebesar 104 watt pada debit 6 liter/jam.

Fenomena ini terjadi karena semakin tinggi debit *thermal oil* akan mengakibatkan laju alir massa refrijeran akan semakin turun seperti yang dijelaskan pada subbab 4.3.2. Sehingga dapat disimpulkan bahwa laju perpindahan panas pada kondensor sangat dipengaruhi oleh laju alir massa refrijeran. Semakin besar debit *thermal oil* maka mengakibatkan semakin sedikit refrijeran yang bisa menguap dari *generator* dikarenakan *effectiveness* pada *generator* yang cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Hal ini mengakibatkan laju alir massa refrijeran akan semakin turun sehingga semakin sedikit jumlah refrijeran yang masuk kedalam kondensor yang mengakibatkan semakin sedikit juga kalor yang bisa dilepaskan ke lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas kondensor akan semakin turun.

4.3.14 Grafik \dot{Q} kondensor fungsi temperatur *inlet generator*



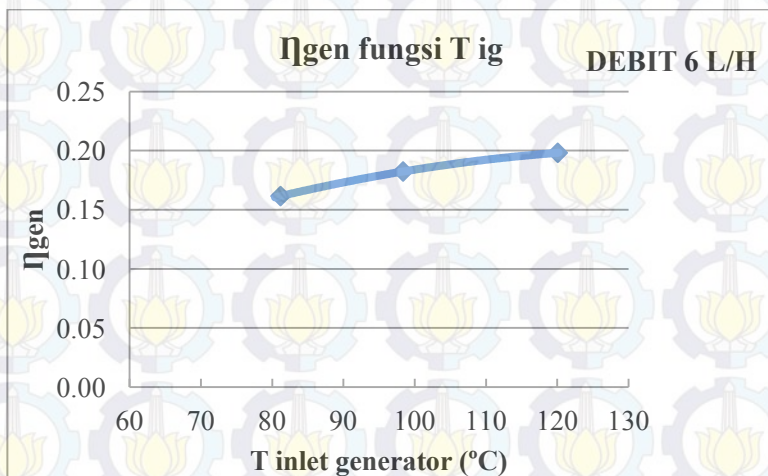
Gambar 4.15 Grafik laju perpindahan panas kondensor fungsi temperatur *inlet generator*

Grafik diatas merupakan grafik hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas pada kondensor dengan temperatur *inlet generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik secara konstan untuk semua variasi debit. Nilai dari laju perpindahan panas pada kondensor meningkat seiring bertambahnya temperatur *inlet generator*. Laju perpindahan panas pada kondensor tertinggi rata rata berada pada debit 6 liter/jam diikuti debit 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Nilai laju perpindahan panas pada kondensor tertinggi yaitu pada debit 6 liter/jam dan temperatur *inlet generator* 120°C dengan nilai 142,99 watt.

Berdasarkan pembahasan grafik sebelumnya kita bisa menyimpulkan bahwa penyebab dari naiknya laju perpindahan panas pada kondensor adalah naiknya temperatur *inlet generator* dan turunnya debit *thermal oil*. Semakin tinggi temperatur *inlet*

generator maka mengakibatkan semakin banyak refrijeran yang bisa menguap dari *generator* sehingga laju alir massa refrijeran akan semakin naik. Semakin banyak jumlah refrijeran yang masuk kedalam kondensor maka semakin banyak juga kalor yang bisa dilepaskan ke lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas kondensor akan semakin naik. Sedangkan pengaruh debit adalah semakin besar debit *thermal oil* maka mengakibatkan semakin sedikit refrijeran yang bisa menguap dari *generator* dikarenakan *effectiveness* pada *generator* yang cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Hal ini mengakibatkan laju alir massa refrijeran akan semakin turun sehingga semakin sedikit jumlah refrijeran yang masuk kedalam kondensor yang mengakibatkan semakin sedikit juga kalor yang bisa dilepaskan ke lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas kondensor akan semakin turun.

4.3.15 Grafik efisiensi *generator* fungsi temperatur inlet *generator*



Gambar 4.16 Grafik efisiensi *generator* fungsi temperatur inlet *generator*

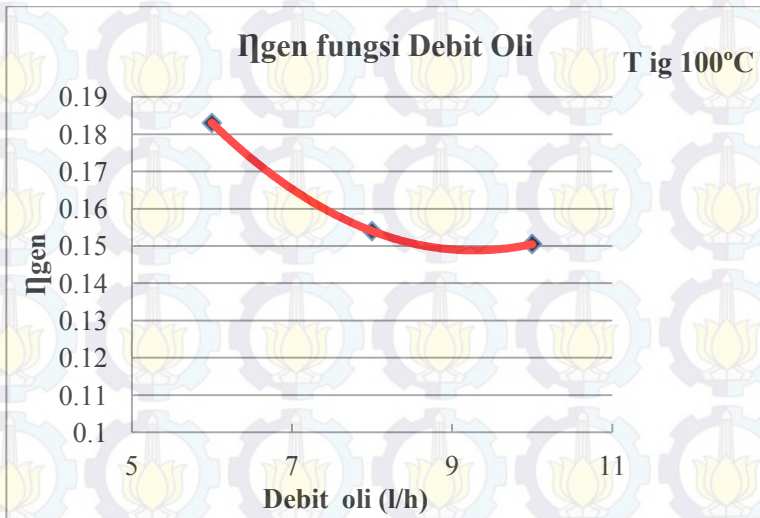
Grafik 4.16 merupakan grafik hubungan antara rata-rata efisiensi *generator* dengan temperatur *inlet generator* untuk debit fluida *thermal oil* 6 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka efisiensi *generator* akan semakin naik. Nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 0,233 pada temperatur *inlet generator* 120°C.

Setelah dilakukan perhitungan pada semua data yang didapatkan dari eksperimen didapatkan grafik seperti pada gambar 4.16. Berikut ini rumus efisiensi *generator* :

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{\dot{Q}_{\text{gen}}}{\dot{Q}_{\text{heater}}}$$

Berdasarkan rumus diatas faktor yang mempengaruhi besarnya efisiensi *generator* adalah laju perpindahan panas pada *generator* (\dot{Q}_{gen}) dikarenakan nilai $\dot{Q}_{\text{heater gen}}$ besarnya tidak berubah-ubah yaitu sebesar 1000 watt. Semakin tinggi laju perpindahan panas *generator* maka efisiensinya akan semakin naik. Fenomena ini terjadi karena semakin tinggi temperatur *inlet generator* akan mengakibatkan laju perpindahan panas *generator* semakin naik seperti yang dijelaskan pada subbab 4.3.5. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka laju perpindahan panas *generator* akan semakin besar yang disebabkan oleh nilai *effectiveness* pada *generator* yang semakin naik sehingga mengakibatkan nilai efisiensinya semakin naik.

4.3.16 Grafik efisiensi *generator* fungsi debit *thermal oil*



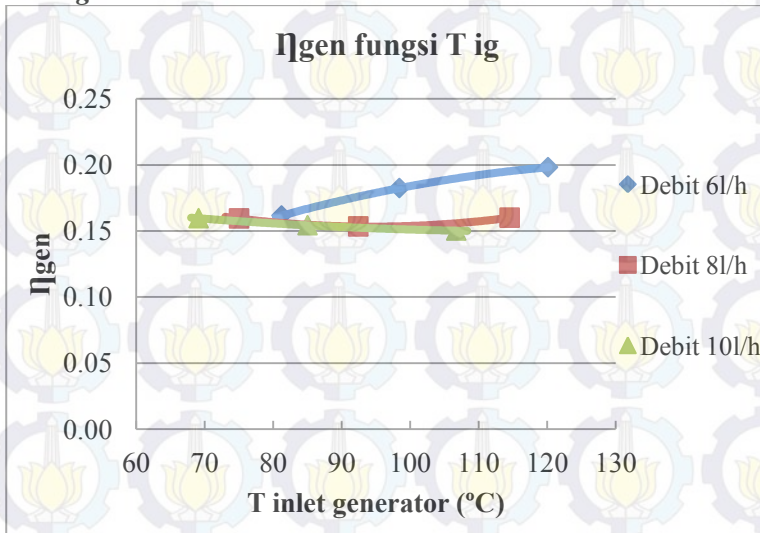
Gambar 4.17 Grafik efisiensi *generator* fungsi debit *thermal oil*

Grafik diatas merupakan grafik hubungan antara rata-rata efisiensi *generator* dengan debit *thermal oil* untuk temperatur *inlet generator* 100°C. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung turun kemudian stabil pada debit 10 liter/jam. Semakin tinggi debit *thermal oil* maka efisiensi *generator* akan semakin turun. Nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 0,183 pada debit *thermal oil* 6 lilet/jam.

Fenomena ini terjadi karena semakin tinggi debit *thermal oil* akan mengakibatkan laju perpindahan panas *generator* semakin turun seperti yang dijelaskan pada subbab 4.3.6. Sehingga dapat disimpulkan bahwa efisiensi *generator* sangat dipengaruhi oleh laju perpindahan panas *generator*. Semakin tinggi debit *thermal oil* maka laju perpindahan panas *generator* akan semakin kecil yang disebabkan oleh nilai *effectiveness* pada *generator* yang semakin menurun sehingga mengakibatkan nilai

efisiensinya semakin turun. Bisa disimpulkan bahwa pengaruh turunya *effectiveness* pada *generator* juga mempengaruhi turunya efisiensi *generator*.

4.3.17 Grafik efisiensi *generator* fungsi temperatur inlet *generator*



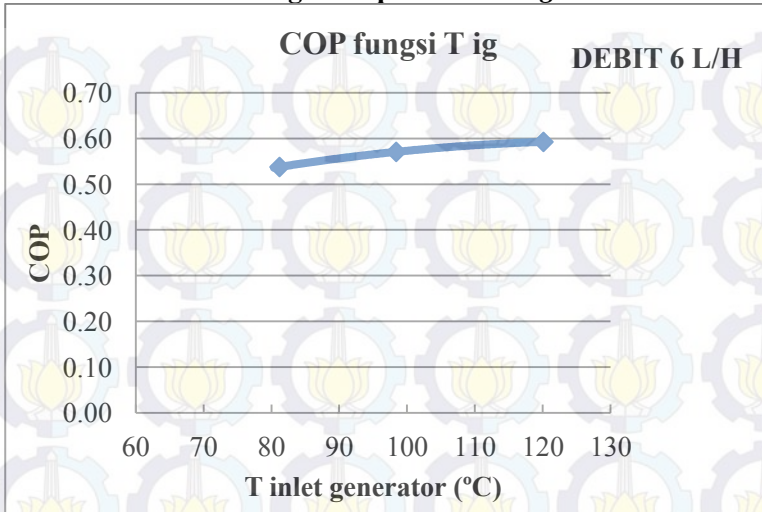
Gambar 4.18 Grafik efisiensi *generator* fungsi temperatur inlet *generator*

Grafik diatas merupakan grafik gabungan hubungan antara rata-rata efisiensi *generator* dengan temperatur inlet *generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik pada debit 6 liter/jam. Sedangkan untuk debit 8 liter/jam cenderung stabil. Untuk debit 10 liter/jam cenderung turun dan kemudian stabil. Nilai dari efisiensi *generator* tertinggi rata rata berada pada debit 6 liter/jam diikuti debit 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Nilai efisiensi *generator* tertinggi yaitu pada debit

thermal oil 6 liter/jam dan temperatur *inlet generator* 120°C dengan nilai 0,233.

Berdasarkan pembahasan grafik sebelumnya kita bisa menyimpulkan bahwa penyebab dari naiknya efisiensi *generator* adalah naiknya temperatur *inlet generator* dan turunnya debit *thermal oil*. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur *thermal oil* akan membuat laju perpindahan panas *generator* semakin tinggi seperti yang dijelaskan pada sub.bab 4.3.5 yang mana akan berhubungan langsung dengan naiknya efisiensi *generator*. Sedangkan pengaruh debit adalah dengan semakin naiknya debit *thermal oil* maka penyerapan panas di *generator* akan lebih sedikit dikarenakan nilai *effectiveness generator* semakin turun seiring dengan naiknya debit sehingga membuat laju perpindahan panas *generator* turun dan membuat nilai efisiensi *generator* akan semakin kecil. Bisa dikatakan bahwa bahwa pengaruh turunnya *effectiveness* pada *generator* juga mempengaruhi turunnya efisiensi *generator*.

4.3.18 Grafik COP fungsi temperatur inlet generator



Gambar 4.19 Grafik COP fungsi temperatur inlet generator

Grafik diatas merupakan grafik hubungan antara nilai COP rata-rata dengan temperatur *inlet generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren cenderung naik. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka COP akan semakin naik. Nilai COP tertinggi yaitu sebesar 0,605 pada temperatur *inlet generator* 120°C.

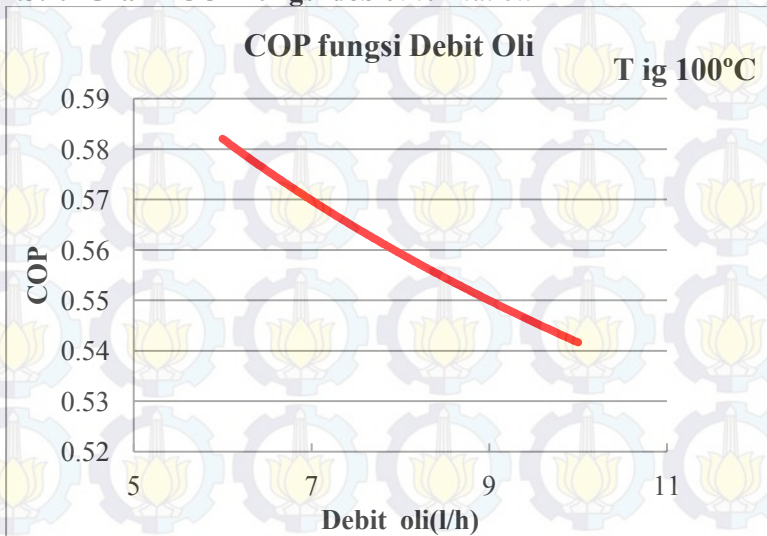
Setelah dilakukan perhitungan pada semua data yang didapatkan dari eksperimen didapatkan grafik seperti pada gambar 4.20 diatas. Berikut ini rumus COP :

$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{Q}_{gen}}$$

Berdasarkan rumus diatas ada dua faktor yang mempengaruhi besarnya COP yaitu laju perpindahan panas pada *evaporator* (\dot{Q}_{evap}) dan pada *generator* (\dot{Q}_{gen}). Nilai COP akan naik seiring dengan naiknya \dot{Q}_{evap} dan akan turun seiring dengan kenaikan

\dot{Q}_{gen} . Berdasarkan pembahasan 4.3.1, naiknya temperatur *inlet generator* akan membuat nilai laju alir massa refrijeran semakin naik karena semakin banyak uap R22 yang dapat menguap dari *generator* yang mengakibatkan semakin banyak kalor yang bisa diserap dari lingkungan pada *evaporator* karena jumlah R22 yang lebih banyak. Hal inilah yang menyebabkan nilai COP semakin naik seiring dengan bertambahnya temperatur pada *inlet generator*.

4.3.19 Grafik COP fungsi debit *thermal oil*



Gambar 4.20 Grafik COP fungsi debit *thermal oil*

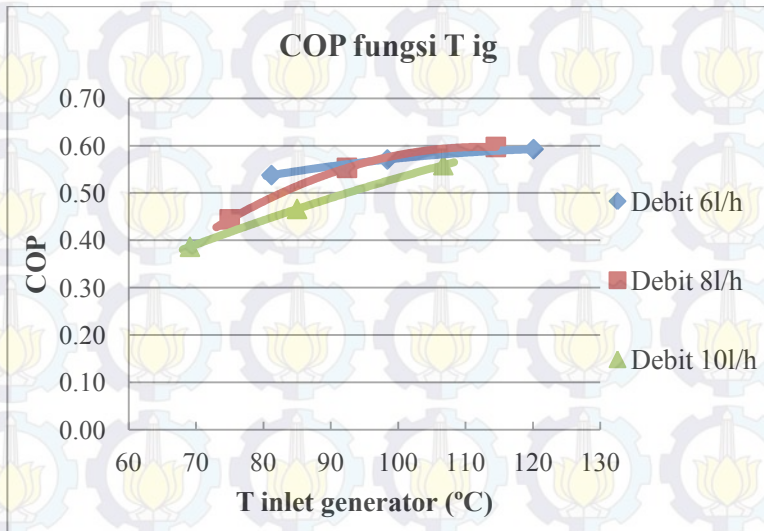
Grafik diatas merupakan grafik hubungan antara COP rata-rata dengan debit *thermal oil* untuk temperatur *inlet generator* 100°C. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Nilai COP tertinggi yaitu sebesar 0,58 pada debit 6 liter/jam.

Setelah dilakukan perhitungan pada semua data yang didapatkan dari eksperimen didapatkan grafik seperti pada gambar 4.20 diatas. Berikut ini rumus COP :

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{evap}}}{\dot{Q}_{\text{gen}}}$$

Berdasarkan rumus diatas ada dua faktor yang mempengaruhi besarnya COP yaitu laju perpindahan panas pada *evaporator* (\dot{Q}_{evap}) dan pada *generator* (\dot{Q}_{gen}). Nilai COP akan naik seiring dengan naiknya \dot{Q}_{evap} dan akan turun seiring dengan kenaikan \dot{Q}_{gen} . Berdasarkan pembahasan 4.3.2, naiknya debit *thermal oil* akan membuat nilai laju alir massa refrijeran semakin turun karena semakin sedikit uap R22 yang dapat menguap dari *generator* yang mengakibatkan semakin sedikit kalor yang bisa diserap dari lingkungan pada *evaporator* karena jumlah R22 yang lebih sedikit. Hal ini dipengaruhi oleh nilai *effectiveness* pada *generator* yang cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Sehingga inilah yang menyebabkan nilai COP cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*.

4.3.20 Grafik COP fungsi temperatur *inlet generator*



Gambar 4.21 Grafik COP fungsi temperatur *inlet generator*

Grafik 4.21 merupakan grafik gabungan hubungan antara COP rata-rata dengan temperatur *inlet generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik secara konstan pada semua variasi debit. Nilai dari COP tertinggi rata rata berada pada debit 6 liter/jam diikuti debit 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Tetapi nilai COP tertinggi ada pada debit *thermal oil* 8 liter/jam dan temperatur *inlet generator* 114,4°C dengan nilai COP 0,612.

Fenomena ini terjadi dikarenakan adanya hubungan antara kenaikan temperatur *inlet generator* dan penurunan debit *thermal oil* dengan naiknya laju perpindahan panas pada *evaporator* (\dot{Q}_{evap}) dan pada *generator* (\dot{Q}_{gen}) yang akan mengakibatkan naiknya COP. Terlihat pada grafik bahwa pada temperatur 70-95°C COP tertinggi ada pada debit 6 liter/jam tetapi setelah itu

debit 8 liter/jam memiliki nilai COP yang relatif sama dengan COP 6 liter /jam. Hal ini disebabkan waktu *steady* dari debit 6 liter/jam cenderung lebih cepat daripada 8 liter/jam sehingga nilai COP nya lebih stabil dari awal. Untuk debit 10 liter/jam terlihat nilai COP yang cenderung naik secara drastis dan jauh dari kondisi *steady*. Dari pembahasan sebelumnya naiknya temperatur *inlet generator* akan membuat nilai laju alir massa refrijeran semakin naik karena semakin banyak uap R22 yang dapat menguap dari *generator* yang mengakibatkan semakin banyak kalor yang bisa diserap dari lingkungan pada *evaporator* karena jumlah R22 yang lebih banyak. Hal inilah yang menyebabkan nilai COP semakin naik seiring dengan bertambahnya temperatur pada *inlet generator*. Selain itu dengan naiknya debit *thermal oil* akan membuat nilai laju alir massa refrijeran semakin turun karena semakin sedikit uap R22 yang dapat menguap dari *generator* yang mengakibatkan semakin sedikit kalor yang bisa diserap dari lingkungan pada *evaporator* karena jumlah R22 yang lebih sedikit. Hal ini dipengaruhi oleh nilai *effectiveness* pada *generator* yang cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Sehingga inilah yang menyebabkan nilai COP cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan eksperimen terhadap mesin pendingin difusi absorpsi dengan pasangan refrigeran-absorben R22-DMF menggunakan fluida *thermal oil* sebagai *heat generator* dengan tiga variasi debit dan tiga variasi temperatur *thermal oil*, maka dapat di ambil beberapa kesimpulan diantaranya adalah :

- A. Semakin tinggi temperatur *thermal oil*, maka :
 - Performa sistem difusi absorpsi semakin baik.
 - Laju aliran massa refrigeran, *weak solution* dan *strong solution* semakin tinggi.
 - Nilai laju perpindahan panas pada *generator*, kondensor dan *evaporator* akan semakin tinggi.
 - Nilai efisiensi *generator* dan COP semakin meningkat.
- B. Semakin kecil debit fluida *thermal oil*, maka :
 - Performa sistem difusi absorpsi semakin baik.
 - Laju aliran massa refrigeran, *weak solution* dan *strong solution* semakin tinggi.
 - Nilai laju perpindahan panas pada *generator*, kondensor dan *evaporator* akan semakin tinggi.
 - Nilai efisiensi *generator* dan COP semakin meningkat.
- C. Hasil unjuk kerja terbaik dari sistem difusi absorpsi ini yaitu nilai COP terbesar 0.612 didapatkan pada temperatur *thermal oil* sebesar 130°C dengan debit *thermal oil* sebesar 8 liter/jam. Untuk nilai kapasitas pendinginan (\dot{Q}_{evap}) terbesar diperoleh sebesar 139,1 watt, laju perpindahan panas pada *generator* (\dot{Q}_{gen}) 233 watt, laju perpindahan panas pada kondensor 143 watt, laju alir massa refrigeran 0.000721 kg/s serta

efisiensi *generator* 0,233 yang didapatkan pada temperatur *thermal oil* sebesar 130°C dan debit 6 liter/jam.

5.2 Saran

- A. Sebaiknya dilakukan perbaikan keseluruhan pada sistem karena sudah pernah dimodifikasi berulang-ulang sehingga mengakibatkan kerusakan pada beberapa bagian.
- B. Pengukuran laju aliran massa refrijeran secara aktual sehingga hasil perhitungan lebih akurat.
- C. Sistem difusi absorpsi mempunyai kelemahan dalam hal waktu yang dibutuhkan supaya sistem bisa *steady*. Waktu yang relatif lama mengakibatkan beberapa kesalahan pada saat pengambilan data. Tunggu sampai sistem sudah benar benar *steady*.
- D. Dibutuhkan ketelitian pada saat proses pengisian refrijeran-absorben-gas inert dan jangan sampai ada tahapan yang terlewat untuk hasil yang baik.

LAMPIRAN 1

TABEL 1 Sifat Refrijeran Cair Jenuh R22 (*Moran, 1998*)

	Temp. C	Press. bar	Specific Volume m³/kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg [#] K		Temp C
			Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
R-22	60	0.3749	0.6833	0.5370	21.57	203.67	21.55	245.35	223.81	0.0964	1.0547	60
	50	0.6451	0.6966	0.3239	10.89	207.70	10.85	239.44	228.60	0.0474	1.0256	50
	45	0.8290	0.7037	0.2564	5.50	209.70	5.44	236.39	230.95	0.0235	1.0126	45
	40	1.0522	0.7109	0.2052	0.07	211.68	0.00	233.27	233.27	0.0000	1.0005	40
	36	1.2627	0.7169	0.1730	4.29	213.25	4.38	230.71	235.09	0.0186	0.9914	36
	32	1.5049	0.7231	0.1468	8.68	214.80	8.79	228.10	236.89	0.0369	0.9828	32
	30	1.6389	0.7262	0.1355	10.88	215.58	11.00	226.77	237.78	0.0460	0.9787	30
	28	1.7819	0.7294	0.1252	13.09	216.34	13.22	225.43	238.66	0.0551	0.9746	28
	26	1.9345	0.7327	0.1159	15.31	217.11	15.45	224.08	239.53	0.0641	0.9707	26
	22	2.2698	0.7393	0.0997	19.76	218.62	19.92	221.32	241.24	0.0819	0.9631	22
	20	2.4534	0.7427	0.0926	21.99	219.37	22.17	219.91	242.09	0.0908	0.9595	20
	18	2.6482	0.7462	0.0861	24.23	220.11	24.43	218.49	242.92	0.0996	0.9559	18
	16	2.8547	0.7497	0.0802	26.48	220.85	26.69	217.05	243.74	0.1084	0.9525	16
	14	3.0733	0.7533	0.0748	28.73	221.58	28.97	215.59	244.56	0.1171	0.9490	14
	12	3.3044	0.7569	0.0698	31.00	222.30	31.25	214.11	245.36	0.1258	0.9457	12
	10	3.5485	0.7606	0.0652	33.27	223.02	33.54	212.62	246.15	0.1345	0.9424	10
	8	3.8062	0.7644	0.0610	35.54	223.73	35.83	211.10	246.93	0.1431	0.9392	8
	6	4.0777	0.7683	0.0571	37.83	224.43	38.14	209.56	247.70	0.1517	0.9361	6
	4	4.3638	0.7722	0.0535	40.12	225.13	40.46	208.00	248.45	0.1602	0.9330	4
	2	4.6647	0.7762	0.0501	42.42	225.82	42.78	206.41	249.20	0.1688	0.9300	2
	0	4.9811	0.7803	0.0470	44.73	226.50	45.12	204.81	249.92	0.1773	0.9271	0
	2	5.3133	0.7844	0.0442	47.04	227.17	47.46	203.18	250.64	0.1857	0.9241	2
	4	5.6619	0.7887	0.0415	49.37	227.83	49.82	201.52	251.34	0.1941	0.9213	4
	6	6.0275	0.7930	0.0391	51.71	228.48	52.18	199.84	252.03	0.2025	0.9184	6
	8	6.4105	0.7974	0.0368	54.05	229.13	54.56	198.14	252.70	0.2109	0.9157	8
	10	6.8113	0.8020	0.0346	56.40	229.76	56.95	196.40	253.35	0.2193	0.9129	10
	12	7.2307	0.8066	0.0326	58.77	230.38	59.35	194.64	253.99	0.2276	0.9102	12
	16	8.1268	0.8162	0.0291	63.53	231.59	64.19	191.02	255.21	0.2442	0.9048	16
	20	9.1030	0.8263	0.0259	68.33	232.76	69.09	187.28	256.37	0.2607	0.8996	20
	24	10.164	0.8369	0.0232	73.19	233.87	74.04	183.40	257.44	0.2772	0.8944	24
	28	11.313	0.8480	0.0208	78.09	234.92	79.05	179.37	258.43	0.2936	0.8893	28
	32	12.556	0.8599	0.0186	83.06	235.91	84.14	175.18	259.32	0.3101	0.8842	32
	36	13.897	0.8724	0.0168	88.08	236.83	89.29	170.82	260.11	0.3265	0.8790	36
	40	15.341	0.8858	0.0151	93.18	237.66	94.53	166.25	260.79	0.3429	0.8738	40
	45	17.298	0.9039	0.0132	99.65	238.59	101.21	160.24	261.46	0.3635	0.8672	45
	50	19.433	0.9238	0.0116	106.26	239.34	108.06	153.84	261.90	0.3842	0.8603	50
	60	24.281	0.9705	0.0089	120.00	240.24	122.35	139.61	261.96	0.4264	0.8455	60

TABEL 2 Sifat Uap-Panas Lanjut R22 (*Moran, 1998*)

<i>T</i> C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg #K	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg #K
<i>p</i> 12.0 bar 1.20 MPa (<i>T</i> _{sat} 30.25C)					<i>p</i> 14.0 bar 1.40 MPa (<i>T</i> _{sat} 36.29C)			
Sat.	0.01955	235.48	258.94	0.8864	0.01662	236.89	260.16	0.8786
40	0.02083	242.63	267.62	0.9146	0.01708	239.78	263.70	0.8900
50	0.02204	249.69	276.14	0.9413	0.01823	247.29	272.81	0.9186
60	0.02319	256.60	284.43	0.9666	0.01929	254.52	281.53	0.9452
70	0.02428	263.44	292.58	0.9907	0.02029	261.60	290.01	0.9703
80	0.02534	270.25	300.66	1.0139	0.02125	268.60	298.34	0.9942
90	0.02636	277.07	308.70	1.0363	0.02217	275.56	306.60	1.0172
100	0.02736	283.90	316.73	1.0582	0.02306	282.52	314.80	1.0395
110	0.02834	290.77	324.78	1.0794	0.02393	289.49	323.00	1.0612
120	0.02930	297.69	332.85	1.1002	0.02478	296.50	331.19	1.0823
130	0.03024	304.65	340.95	1.1205	0.02562	303.55	339.41	1.1029
140	0.03118	311.68	349.09	1.1405	0.02644	310.64	347.65	1.1231
150	0.03210	318.77	357.29	1.1601	0.02725	317.79	355.94	1.1429
160	0.03301	325.92	365.54	1.1793	0.02805	324.99	364.26	1.1624
170	0.03392	333.14	373.84	1.1983	0.02884	332.26	372.64	1.1815
<i>p</i> 16.0 bar 1.60 MPa (<i>T</i> _{sat} 41.73C)					<i>p</i> 18.0 bar 1.80 MPa (<i>T</i> _{sat} 46.69C)			
Sat.	0.01440	238.00	261.04	0.8715	0.01265	238.86	261.64	0.8649
50	0.01533	244.66	269.18	0.8971	0.01301	241.72	265.14	0.8758
60	0.01634	252.29	278.43	0.9252	0.01401	249.86	275.09	0.9061
70	0.01728	259.65	287.30	0.9515	0.01492	257.57	284.43	0.9337
80	0.01817	266.86	295.93	0.9762	0.01576	265.04	293.40	0.9595
90	0.01901	274.00	304.42	0.9999	0.01655	272.37	302.16	0.9839
100	0.01983	281.09	312.82	1.0228	0.01731	279.62	310.77	1.0073
110	0.02062	288.18	321.17	1.0448	0.01804	286.83	319.30	1.0299
120	0.02139	295.28	329.51	1.0663	0.01874	294.04	327.78	1.0517
130	0.02214	302.41	337.84	1.0872	0.01943	301.26	336.24	1.0730
140	0.02288	309.58	346.19	1.1077	0.02011	308.50	344.70	1.0937
150	0.02361	316.79	354.56	1.1277	0.02077	315.78	353.17	1.1139
160	0.02432	324.05	362.97	1.1473	0.02142	323.10	361.66	1.1338
170	0.02503	331.37	371.42	1.1666	0.02207	330.47	370.19	1.1532
<i>p</i> 20.0 bar 2.00 MPa (<i>T</i> _{sat} 51.26C)					<i>p</i> 24.0 bar 2.4 MPa (<i>T</i> _{sat} 59.46C)			
Sat.	0.01124	239.51	261.98	0.8586	0.00907	240.22	261.99	0.8463
60	0.01212	247.20	271.43	0.8873	0.00913	240.78	262.68	0.8484
70	0.01300	255.35	281.36	0.9167	0.01006	250.30	274.43	0.8831
80	0.01381	263.12	290.74	0.9436	0.01085	258.89	284.93	0.9133
90	0.01457	270.67	299.80	0.9689	0.01156	267.01	294.75	0.9407
100	0.01528	278.09	308.65	0.9929	0.01222	274.85	304.18	0.9663
110	0.01596	285.44	317.37	1.0160	0.01284	282.53	313.35	0.9906
120	0.01663	292.76	326.01	1.0383	0.01343	290.11	322.35	1.0137
130	0.01727	300.08	334.61	1.0598	0.01400	297.64	331.25	1.0361
140	0.01789	307.40	343.19	1.0808	0.01456	305.14	340.08	1.0577
150	0.01850	314.75	351.76	1.1013	0.01509	312.64	348.87	1.0787
160	0.01910	322.14	360.34	1.1214	0.01562	320.16	357.64	1.0992
170	0.01969	329.56	368.95	1.1410	0.01613	327.70	366.41	1.1192
180	0.02027	337.03	377.58	1.1603	0.01663	335.27	375.20	1.1388

R-22

Tabel 3 Koefisien panas campuran

Pair	K_0	K_1	K_2	K_3
R22-DMF	$B_0/T^2 + 2 \cdot C_0/T^3 - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$	$B_1/T^2 + 2 \cdot C_1/T^3$	$B_2/T^2 + 2 \cdot C_2/T^3$	0.0
R22-DMETEG	$-B_0 - 2 \cdot C_3 \cdot T - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$	$-B_1 - 2 \cdot C_1 \cdot T$	$-B_2 - 2 \cdot C_2 \cdot T$	$-B_3 - 2 \cdot C_3 \cdot T$
R22-NMP	$-B_0 + 0.0 - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$	$-B_1 - 3 \cdot C_1 \cdot T^2$	$-B_2 - 3 \cdot C_2 \cdot T^2$	$-3 \cdot C_3 \cdot T^2$
R22-DTRG	$-D_0/T - 2 \cdot B_0 \cdot T - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$	$-D_1/T - 2 \cdot B_1 \cdot T$	$-D_2/T - 2 \cdot B_2 \cdot T$	0.0
R22-DMA	$-2 \cdot B_0 \cdot T + 0.0 - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$	$-2 \cdot B_1 \cdot T - 3 \cdot C_1 \cdot T$	$-2 \cdot B_2 \cdot T - 3 \cdot C_2 \cdot T$	$-3 \cdot C_3 \cdot T^2$
R22-DMEDEG	$B_0/T^2 - D_0/T - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$	$+B_1/T^2 - D_1/T$	$+B_2/T^2 - D_2/T$	$B_3/T^2 - D_3/T$

Tabel 4 Koefisien hubungan P-T-X pada campuran

Coeff.	R22-DMF	R22-DMETEG	R22-DMEDEG	R22-NMP	R22-DMETEG	R22-DMA
A ₀	0.6513005E+01	-0.3055194E+02	0.5266711E+02	-0.1134245E+02	-0.8043237E+02	-0.5504224E+01
A ₁	0.1167467E+02	0.1715593E+02	0.6595212E+00	-0.2568081E+02	0.0	-0.2609962E+01
A ₂	0.174752E+02	0.345530E+01	-0.3899815E+01	0.3154106E+02	0.0	-0.5839617E+00
A ₃	0.0	-0.2260165E+01	-0.1135981E+02	0.0	0.2615907E+02	0.0
A ₄	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1059630E+02	0.0
B ₀	-0.1817206E+04	-0.1548290E+00	-0.5202060E+04	0.3327715E-01	-0.2073306E-04	0.4065837E-04
B ₁	-0.4302679E+04	-0.5501963E-01	-0.7389477E+03	0.1577226E+00	-0.2784090E-04	0.2545399E-03
B ₂	0.9877574E+04	-0.3732812E-01	0.5617743E+04	-0.1628128E+00	0.2402536E-04	-0.1145294E-04
B ₃	0.0	0.7183949E-02	-0.3411698E+04	0.0	0.0	0.0
C ₀	-0.1355858E+06	-0.1901107E-03	0.0	0.0	0.0	0.0
C ₁	0.6257979E+06	0.7757965E-04	0.0	-0.5826726E-06	0.0	-0.4933675E-06
C ₂	-0.1435346E+07	0.2816656E-04	0.0	0.5810610E-06	0.0	-0.4426027E-07
C ₃	0.0	0.1405272E-04	0.0	-0.1845199E-07	0.0	0.8322973E-08
D ₀	0.0	0.0	-0.6485405E+01	0.0	0.1407847E+02	0.0
D ₁	0.0	0.0	0.1764033E+01	0.0	0.2947679E+01	0.0
D ₂	0.0	0.0	-0.3557847E+01	0.0	-0.4842923E+01	0.0
D ₃	0.0	0.0	0.4241893E+01	0.0	0.0	0.0
a	-1.0	1.0	-1.0	1.0	2.0	2.0
b	-2.0	2.0	0.0	3.0	0.0	3.0
TR	310:394	273:363	273:373	273:373	283:393	293:373
XR	0.2:0.7	0.2:1.0	0.14:0.85	0.2:1.0	0.2:1.0	0.2:0.88
PR	0.0:20.0	0.0:46.0	0.0:50.0	0.0:25.0	0.0:25.0	0.0:18.0
CC	0.999	0.996	0.999	0.999	0.999	0.999
%Error	2.112	1.440	2.204	2.589	2.207	3.8273

Tabel 5 Koefisien untuk *enthalpy* cair jenuh pada DMF

Coeff.	DMF	DMETEG	NMP	DMETEG	DMA
F_0	$-0.3522493E+03$	$-0.3333408E+03$	$-0.2525563E+03$	$-0.4153019E+03$	$-0.3438173E+03$
F_1	$0.1317081E+01$	$0.1299057E+01$	$0.9247983E+00$	$0.1720001E+01$	$0.1301697E+01$
F_2	$0.1239553E-02$	$0.1053050E-02$	$0.1340178E-02$	$0.609064E-03$	$0.1182902E-02$
CC	1.00001	1.00001	1.00000	1.00002	1.00001
%Error	0.00168	0.02347	0.01709	0.00880	0.00103

Reference enthalpy = 100.0 kJ kg^{-1} for liquid at 273.15 K .

Tabel 6 Koefisien untuk *enthalpy* cair jenuh dan uap jenuh

Coeff.	Saturated liquid		Saturated vapour	
F_0	$-0.6814640E+02$	$0.1966645E+04$	$0.3722971E+02$	$-0.2720182E+04$
F_1	$0.0631300E+00$	$-0.1209784E+02$	$0.1599520E+01$	$0.1811784E+02$
F_2	$0.0020200E+00$	$0.2018352E-01$	$-0.2260308E-02$	$-0.2699451E-01$
TR	$253.15:323.15$		$323.15:368.15$	
CC	0.998		0.998	
%Error	0.376		0.037	

Reference enthalpy = 100 kJ kg^{-1} for liquid at 273.15 K .

LAMPIRAN 2

Tabel 1. Pengambilan Data Debit 6L/Jam

No	T Heater	Waktu	T _{IG}	T _{OG}	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	P ₁	P ₂	P ₃	T _{UI}	T _{UO}	T _K
1	90	0'	81.2	65.2	31.2	36.9	51.1	70.3	28.7	18.4	24.6	31.2	12.2	12.2	12.3	26.3	27.1	20.0
2	90	30'	80.4	65.1	32.4	36.5	51.4	71.0	28.9	18.3	24.7	30.7	12.2	12.4	12.2	26.3	27.4	20.0
3	90	60'	80.7	64.9	32.5	36.6	51.7	70.8	28.3	18.5	24.6	30.4	12.3	12.4	12.4	26.4	27.2	20.0
4	90	90'	81.0	64.3	31.5	36.6	51.2	70.8	28.6	17.4	23.7	30.0	12.0	12.1	12.1	26.2	27.4	19.0
5	90	120'	81.6	64.5	32.6	36.9	51.2	71.2	28.7	17.3	23.6	29.8	12.0	12.3	12.0	26.2	27.4	19.0
6	90	150'	81.1	63.8	32.3	36.5	51.0	71.2	28.9	16.5	23.2	30.1	12.3	12.3	12.0	26.5	27.4	19.0
7	90	180'	81.5	63.5	32.2	36.5	51.4	71.4	28.8	17.3	23.9	30.2	12.0	12.5	12.1	26.4	27.4	19.0
8	110	0'	98.4	84.1	34.5	38.6	54.4	74.5	30.7	17.2	23.3	30.4	12.4	12.5	12.2	26.1	27.4	19.0
9	110	30'	99.2	84.9	34.9	38.8	54.0	75.3	29.5	17.4	23.2	30.5	12.3	12.4	12.5	26.1	27.3	19.0
10	110	60'	99.6	85.4	34.8	38.9	53.9	75.6	30.9	18.2	23.6	31.1	12.3	12.5	12.5	26.1	27.4	20.0
11	110	90'	99.5	85.5	34.7	38.6	53.7	75.7	30.8	16.2	22.4	31.4	12.5	12.5	12.4	26.2	27.4	19.0
12	110	120'	98.9	84.7	34.8	39.3	54.2	75.2	29.3	16.4	23.4	29.9	12.2	12.4	12.6	26.1	27.3	19.0
13	110	150'	100.1	84.5	35.1	38.5	54.0	75.3	29.1	17.3	22.4	30.2	12.4	12.4	12.3	26.1	27.2	19.0
14	110	180'	100.2	84.8	35.2	38.3	54.5	75.0	29.1	17.5	22.3	30.2	12.5	12.4	12.5	26.3	27.4	19.0
15	130	0'	120.1	100.9	36.4	42.0	57.4	79.3	31.1	16.8	21.3	30.6	12.6	12.8	12.6	26.2	27.5	18.0
16	130	30'	120.0	101.6	35.3	42.1	57.5	78.8	31.0	15.9	21.8	31.0	12.7	12.8	12.8	26.1	27.7	18.0
17	130	60'	120.2	101.2	35.4	42.9	57.2	78.8	31.4	16.6	21.4	31.1	12.5	12.9	12.5	26.2	27.5	18.0
18	130	90'	118.3	99.6	36.1	42.7	57.3	78.6	30.9	16.8	22.3	30.8	12.8	13.0	12.8	26.1	27.7	18.0
19	130	120'	118.5	100.5	35.6	42.0	56.7	79.0	30.7	17.8	22.5	30.4	12.8	13.0	12.9	26.1	27.4	19.0
20	130	150'	118.2	99.8	34.9	41.3	56.9	79.1	31.6	17.2	22.0	30.6	12.7	12.8	12.7	26.2	27.3	19.0
21	130	180'	118.0	99.3	35.1	41.8	57.1	79.0	31.0	16.6	22.3	31.0	12.6	12.8	12.7	26.0	27.3	18.0

Tabel 2. Pengambilan Data Debit 8L/Jam

No	T Heater	Waktu	T _{IG}	T _{OG}	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	P ₁	P ₂	P ₃	T _{UI}	T _{UO}	T _K
1	90	0'	75.0	66.0	30.8	35.6	45.1	67.4	26.2	18.6	24.4	31.2	12.1	12.3	12.3	26.5	27.4	21.0
2	90	30'	74.8	65.5	31.2	35.5	46.5	67.9	26.0	18.9	24.8	30.5	12.0	12.2	12.4	26.5	27.2	21.0
3	90	60'	74.6	65.8	31.2	35.7	46.6	67.7	26.8	19.7	24.9	30.1	12.0	12.0	12.2	26.6	27.5	21.0
4	90	90'	73.8	65.5	31.9	35.9	46.5	67.5	26.4	19.6	24.8	30.9	12.4	12.2	12.2	26.3	27.0	21.0
5	90	120'	73.0	65.9	32.7	35.6	45.7	67.6	26.4	19.1	24.7	30.5	12.3	12.4	12.0	26.4	27.3	21.0
6	90	150'	73.4	65.3	31.7	35.0	45.9	67.8	27.1	18.6	25.2	30.5	12.4	12.0	12.0	26.4	27.2	20.0
7	90	180'	73.7	66.1	31.8	34.9	45.6	67.8	27.4	18.8	25.1	30.7	12.2	12.4	12.3	26.3	27.1	20.0
8	110	0'	92.4	84.0	33.1	36.5	48.6	70.2	28.5	18.6	25.1	30.4	12.4	12.4	12.4	26.5	27.5	20.0
9	110	30'	92.5	84.2	34.6	38.8	48.4	71.3	28.9	18.4	24.9	30.1	12.4	12.5	12.4	26.4	27.4	20.0
10	110	60'	92.8	83.5	34.0	37.8	48.6	71.4	28.1	18.1	24.8	29.9	12.2	12.5	12.4	26.4	27.4	20.0
11	110	90'	91.9	83.9	34.2	37.5	48.4	71.3	28.1	18.3	24.7	30.4	12.3	12.2	12.2	26.5	27.4	20.0
12	110	120'	92.0	84.1	34.1	37.9	48.3	71.6	28.4	18.7	25.5	30.5	12.2	12.3	12.0	26.4	27.4	20.0
13	110	150'	92.4	84.9	34.6	38.5	48.4	72.0	28.1	19.7	25.5	30.8	12.4	12.5	12.1	26.5	27.4	21.0
14	110	180'	92.0	84.4	34.7	38.7	48.6	70.8	28.7	19.9	25.4	30.4	12.2	12.4	12.0	26.5	27.5	21.0
15	130	0'	114.5	99.2	35.1	39.3	52.3	74.5	30.2	19.6	24.1	30.7	12.5	12.6	12.5	26.2	27.3	21.0
16	130	30'	114.2	99.4	35.5	40.1	52.0	74.5	30.5	19.1	24.9	30.5	12.4	12.7	12.3	26.3	27.5	21.0
17	130	60'	113.4	100.5	35.3	40.5	51.6	75.0	29.6	19.6	24.5	30.6	12.5	12.9	12.6	26.2	27.4	21.0
18	130	90'	112.4	100.1	35.0	40.8	51.5	75.3	29.9	20.3	24.8	30.5	12.6	12.8	12.7	26.5	27.5	21.0
19	130	120'	113.7	99.6	35.1	41.3	51.8	75.3	29.8	19.1	25.3	30.9	12.7	12.5	12.5	26.3	27.3	21.0
20	130	150'	114.4	99.2	35.1	41.4	52.1	75.0	29.6	18.6	25.3	31.0	12.7	12.9	12.6	26.4	27.5	20.0
21	130	180'	114.2	100.3	35.0	40.4	51.6	74.8	30.0	18.8	25.0	31.4	12.7	12.6	12.6	26.3	27.4	20.0

Tabel 3. Pengambilan Data Debit 10L/Jam

No	T Heater	Waktu	T _{IG}	T _{OG}	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	P ₁	P ₂	P ₃	T _{UI}	T _{UO}	T _K
1	90	0'	69.1	65.2	30.1	33.6	42.2	62.4	25.3	21.0	26.4	30.5	12.0	12.4	12.3	26.5	27.1	22.0
2	90	30'	68.7	65.2	30.2	33.9	42.6	62.6	25.0	20.6	25.8	30.2	12.0	12.2	12.5	26.4	27.0	22.0
3	90	60'	68.0	64.2	31.0	34.5	43.2	61.6	24.7	20.6	26.5	30.2	12.4	12.4	12.5	26.4	27.3	22.0
4	90	90'	68.4	64.2	30.7	34.3	43.0	61.9	25.3	20.7	26.7	31.0	12.3	12.2	12.6	26.4	27.3	22.0
5	90	120'	68.4	64.6	31.0	33.7	42.7	61.5	24.9	21.4	26.7	30.1	12.3	12.5	12.5	26.5	27.2	22.0
6	90	150'	69.2	64.1	30.8	34.3	42.6	61.3	25.0	21.6	25.6	30.2	12.2	12.4	12.4	26.4	27.1	23.0
7	90	180'	68.6	64.2	30.5	34.2	43.2	61.3	25.2	21.8	26.8	29.4	12.0	12.6	12.5	26.5	27.1	23.0
8	110	0'	85.0	76.5	32.1	35.7	46.2	65.9	25.3	20.6	25.8	30.4	12.5	12.5	12.4	26.4	27.2	22.0
9	110	30'	84.7	77.3	32.6	35.8	46.8	65.5	25.6	21.6	26.0	30.4	12.3	12.4	12.5	26.4	27.3	23.0
10	110	60'	84.9	77.5	31.2	36.0	45.7	65.8	25.4	21.8	26.2	30.7	12.4	12.6	12.5	26.4	27.2	23.0
11	110	90'	85.4	78.1	32.7	35.5	45.2	66.2	25.7	21.6	26.1	29.9	12.6	12.4	12.4	26.2	27.1	23.0
12	110	120'	85.5	78.3	32.9	36.3	45.0	66.4	25.7	21.7	26.0	30.7	12.5	12.5	12.5	26.3	27.1	23.0
13	110	150'	84.3	78.7	31.8	36.2	45.8	66.3	25.5	21.7	26.3	30.8	12.5	12.5	12.5	26.3	27.1	23.0
14	110	180'	84.3	78.5	31.8	36.1	45.9	66.2	25.3	21.8	26.1	30.2	12.5	12.3	12.5	26.3	27.2	23.0
15	130	0'	106.7	98.4	34.3	38.3	48.4	71.2	26.3	21.9	25.1	30.1	12.5	12.6	12.7	26.5	27.4	23.0
16	130	30'	107.2	99.3	34.1	39.1	47.7	70.7	26.1	21.3	24.9	30.0	12.6	12.8	12.5	26.4	27.4	23.0
17	130	60'	107.6	100.3	34.7	39.5	47.3	70.7	26.5	21.0	25.6	29.8	12.5	12.8	12.4	26.4	27.3	23.0
18	130	90'	106.6	99.4	34.5	38.4	47.3	70.8	26.8	21.7	25.7	30.6	12.6	12.0	12.7	26.5	27.4	23.0
19	130	120'	107.5	100.2	34.7	38.2	48.2	71.0	26.5	21.7	25.5	30.5	12.8	12.5	12.5	26.4	27.4	23.0
20	130	150'	107.4	100.4	34.8	38.1	47.8	70.8	26.1	21.9	25.5	30.6	12.5	12.8	12.8	26.4	27.4	23.0
21	130	180'	108.3	99.8	34.8	38.3	47.2	70.8	26.4	21.6	25.4	30.7	12.5	12.8	12.5	26.3	27.5	23.0

Tabel 4. Perhitungan Data Debit 6L/Jam

m R22 (gr)	m DMF (gr)	Xss	T ₂ (K)	T ₄ (K)	P (bar)	Xws	Strong Solution				Weak Solution				Y ₀		Y ₁		Y ₂		Y ₃	
							K ₀	K ₁	K ₂	K ₃	K ₀	K ₁	K ₂	K ₃	Ss	Ws	Ss	Ws	Ss	Ws	Ss	Ws
480	320	0.6	310.05	343.45	12.23	0.51	-0.00341	-0.00277	0.00643	0	-0.00149	-0.00559	0.01287	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	309.65	344.15	12.27	0.51	-0.00343	-0.00272	0.00632	0	-0.00145	-0.00563	0.01296	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	309.75	343.95	12.37	0.51	-0.00343	-0.00273	0.00635	0	-0.00146	-0.00561	0.01294	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	309.75	343.95	12.07	0.51	-0.00343	-0.00273	0.00635	0	-0.00146	-0.00561	0.01294	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	310.05	344.35	12.10	0.51	-0.00341	-0.00277	0.00643	0	-0.00144	-0.00564	0.01299	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	309.65	344.35	12.20	0.51	-0.00343	-0.00272	0.00632	0	-0.00144	-0.00564	0.01299	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	309.65	344.55	12.20	0.51	-0.00343	-0.00272	0.00632	0	-0.00143	-0.00565	0.01302	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	311.75	347.65	12.37	0.49	-0.00332	-0.00297	0.00688	0	-0.00124	-0.00582	0.01340	0	1.5	0.96078	0.58371	0.28744	0.26742	0.10410	0.13113	0.41075
480	320	0.6	311.95	348.45	12.40	0.49	-0.00331	-0.00299	0.00693	0	-0.00119	-0.00586	0.01349	0	1.5	0.96078	0.58371	0.28744	0.26742	0.10410	0.13113	0.41075
480	320	0.6	312.05	348.75	12.43	0.49	-0.00331	-0.00300	0.00696	0	-0.00117	-0.00587	0.01353	0	1.5	0.96078	0.58371	0.28744	0.26742	0.10410	0.13113	0.41075
480	320	0.6	311.75	348.85	12.47	0.49	-0.00332	-0.00297	0.00688	0	-0.00116	-0.00588	0.01354	0	1.5	0.96078	0.58371	0.28744	0.26742	0.10410	0.13113	0.41075
480	320	0.6	312.45	348.35	12.40	0.49	-0.00329	-0.00304	0.00706	0	-0.00119	-0.00585	0.01348	0	1.5	0.96078	0.58371	0.28744	0.26742	0.10410	0.13113	0.41075
480	320	0.6	311.65	348.45	12.37	0.49	-0.00333	-0.00295	0.00685	0	-0.00119	-0.00586	0.01349	0	1.5	0.96078	0.58371	0.28744	0.26742	0.10410	0.13113	0.41075
480	320	0.6	311.45	348.15	12.47	0.49	-0.00334	-0.00293	0.00680	0	-0.00120	-0.00584	0.01346	0	1.5	0.96078	0.58371	0.28744	0.26742	0.10410	0.13113	0.41075
480	320	0.6	315.15	352.45	12.67	0.48	-0.00314	-0.00334	0.00773	0	-0.00094	-0.00605	0.01394	0	1.5	0.92308	0.58371	0.26915	0.26742	0.09522	0.13113	0.40130
480	320	0.6	315.25	351.95	12.77	0.48	-0.00313	-0.00335	0.00775	0	-0.00097	-0.00603	0.01389	0	1.5	0.92308	0.58371	0.26915	0.26742	0.09522	0.13113	0.40130
480	320	0.6	316.05	351.95	12.63	0.48	-0.00309	-0.00343	0.00795	0	-0.00097	-0.00603	0.01389	0	1.5	0.92308	0.58371	0.26915	0.26742	0.09522	0.13113	0.40130
480	320	0.6	315.85	351.75	12.87	0.48	-0.00310	-0.00341	0.00790	0	-0.00098	-0.00602	0.01387	0	1.5	0.92308	0.58371	0.26915	0.26742	0.09522	0.13113	0.40130
480	320	0.6	315.15	352.15	12.90	0.48	-0.00314	-0.00334	0.00773	0	-0.00096	-0.00604	0.01391	0	1.5	0.92308	0.58371	0.26915	0.26742	0.09522	0.13113	0.40130
480	320	0.6	314.45	352.25	12.73	0.48	-0.00318	-0.00326	0.00756	0	-0.00095	-0.00604	0.01392	0	1.5	0.92308	0.58371	0.26915	0.26742	0.09522	0.13113	0.40130
480	320	0.6	314.95	352.15	12.70	0.48	-0.00315	-0.00332	0.00768	0	-0.00096	-0.00604	0.01391	0	1.5	0.92308	0.58371	0.26915	0.26742	0.09522	0.13113	0.40130

Tabel 5. Perhitungan Data Debit 6L/Jam

h ss (h ₂)	hsl r	hsl a	h mix	h ws (h ₄)	hsl r	hsl a	h mix	h3	h5	h6	h7	ρ udara (kg/m ³)	Cp udara (kJ/kg.K)	ṁ ref (kg/s)	ṁ ws (kg/s)	ṁ ss (kg/s)	Q _{cond} (watt)	Q _{evap} (watt)	Q _{oil} (watt)	Q _{gen} (watt)	η _{gen}	COP
Entalphy (kJ/kg)												ρ udara (kg/m ³)	Cp udara (kJ/kg.K)	ṁ ref (kg/s)	ṁ ws (kg/s)	ṁ ss (kg/s)	Q _{cond} (watt)	Q _{evap} (watt)	Q _{oil} (watt)	Q _{gen} (watt)	η _{gen}	COP
156.26	143.68	175.14	-2.4E-07	207.41	170.11	246.29	-0.03	276.75	79.94	67.13	257.59											
155.62	143.16	174.31	-2.4E-07	208.74	171.27	247.81	-0.03	276.68	80.20	67.01	257.61	1.1614	1.007	0.00050	0.00222	0.00272	98.31	95.36	45.88	178.71	0.18	0.53
155.78	143.29	174.52	-2.4E-07	208.36	170.94	247.38	-0.03	276.94	79.43	67.25	257.59	1.1614	1.007	0.00036	0.00161	0.00197	71.50	68.90	47.38	128.45	0.13	0.54
155.78	143.29	174.52	-2.4E-07	208.36	170.94	247.38	-0.03	277.00	79.81	65.91	257.37	1.1614	1.007	0.00054	0.00242	0.00296	107.24	104.13	50.07	193.03	0.19	0.54
156.26	143.68	175.14	-2.4E-07	209.12	171.60	248.24	-0.03	276.67	79.94	65.78	257.34	1.1614	1.007	0.00055	0.00242	0.00297	107.24	104.42	51.29	193.71	0.19	0.54
155.62	143.16	174.31	-2.4E-07	209.12	171.60	248.24	-0.03	276.50	80.20	64.80	257.24	1.1614	1.007	0.00041	0.00182	0.00223	80.43	78.85	51.85	146.97	0.15	0.54
155.62	143.16	174.31	-2.4E-07	209.51	171.94	248.68	-0.03	276.52	80.07	65.78	257.42	1.1614	1.007	0.00045	0.00202	0.00248	89.37	87.18	53.95	163.97	0.16	0.53
159.01	145.90	178.69	-2.3E-07	217.14	177.35	255.42	-0.03	279.00	82.49	65.66	257.27	1.1614	1.007	0.00059	0.00215	0.00274	116.18	113.28	43.93	195.89	0.20	0.58
159.34	146.16	179.11	-2.3E-07	218.74	178.80	257.17	-0.03	278.82	80.96	65.91	257.24	1.1614	1.007	0.00054	0.00197	0.00251	107.24	103.71	43.98	181.84	0.18	0.57
159.50	146.29	179.32	-2.3E-07	219.34	179.36	257.82	-0.03	278.58	82.74	66.89	257.34	1.1614	1.007	0.00059	0.00216	0.00275	116.18	112.99	43.69	199.74	0.20	0.57
159.01	145.90	178.69	-2.3E-07	219.55	179.54	258.04	-0.03	278.41	82.61	64.44	257.04	1.1614	1.007	0.00055	0.00199	0.00254	107.24	105.50	43.08	185.96	0.19	0.57
160.15	146.82	180.15	-2.3E-07	218.54	178.62	256.95	-0.03	278.99	80.70	64.68	257.29	1.1614	1.007	0.00054	0.00197	0.00251	107.24	104.17	43.65	179.11	0.18	0.58
158.85	145.77	178.48	-2.3E-07	218.74	178.80	257.17	-0.03	278.82	80.45	65.78	257.04	1.1614	1.007	0.00050	0.00180	0.00230	98.31	94.78	47.99	167.37	0.17	0.57
158.53	145.50	178.06	-2.3E-07	218.14	178.25	256.51	-0.03	279.24	80.45	66.03	257.02	1.1614	1.007	0.00049	0.00180	0.00229	98.31	94.45	47.39	166.89	0.17	0.57
164.55	150.38	185.81	-2.2E-07	227.76	186.48	265.91	-0.02	281.07	82.99	65.17	256.77	1.1614	1.007	0.00059	0.00196	0.00254	116.18	112.39	60.48	191.93	0.19	0.59
164.71	150.51	186.02	-2.2E-07	226.71	185.48	264.82	-0.03	281.15	82.87	64.07	256.90	1.1614	1.007	0.00072	0.00240	0.00312	142.99	139.06	57.98	233.00	0.23	0.60
166.02	151.57	187.70	-2.1E-07	226.71	185.48	264.82	-0.03	280.75	83.38	64.93	256.80	1.1614	1.007	0.00059	0.00196	0.00255	116.18	112.94	59.86	186.62	0.19	0.61
165.69	151.30	187.28	-2.1E-07	226.29	185.09	264.38	-0.03	280.68	82.74	65.17	257.02	1.1614	1.007	0.00072	0.00241	0.00313	142.99	138.59	58.79	228.99	0.23	0.61
164.55	150.38	185.81	-2.2E-07	227.13	185.88	265.25	-0.02	280.17	82.49	66.40	257.07	1.1614	1.007	0.00059	0.00196	0.00255	116.18	112.06	56.63	190.55	0.19	0.59
163.41	149.45	184.34	-2.2E-07	227.34	186.08	265.47	-0.02	280.65	83.63	65.66	256.95	1.1614	1.007	0.00050	0.00166	0.00216	98.31	95.45	57.85	164.84	0.16	0.58
164.22	150.11	185.39	-2.2E-07	227.13	185.88	265.25	-0.02	280.82	82.87	64.93	257.02	1.1614	1.007	0.00059	0.00196	0.00254	116.18	112.75	58.76	191.50	0.19	0.59

Tabel 6. Perhitungan Data Debit 8L/Jam

m R22 (gr)	m DMF (gr)	Xss	T ₂ (K)	T ₄ (K)	P (bar)	Xws	Strong Solution				Weak Solution				Y ₀		Y ₁		Y ₂		Y ₃	
							K ₀	K ₁	K ₂	K ₃	K ₀	K ₁	K ₂	K ₃	Ss	Ws	Ss	Ws	Ss	Ws	Ss	Ws
480	320	0.6	308.75	340.55	12.23	0.54	-0.00348	-0.00261	0.00607	0	-0.00167	-0.00541	0.01248	0	1.5	1.17391	0.58371	0.39738	0.26742	0.16086	0.13113	0.46433
480	320	0.6	308.65	341.05	12.20	0.54	-0.00349	-0.00260	0.00605	0	-0.00164	-0.00544	0.01255	0	1.5	1.17391	0.58371	0.39738	0.26742	0.16086	0.13113	0.46433
480	320	0.6	308.85	340.85	12.07	0.54	-0.00348	-0.00263	0.00610	0	-0.00165	-0.00543	0.01252	0	1.5	1.17391	0.58371	0.39738	0.26742	0.16086	0.13113	0.46433
480	320	0.6	309.05	340.65	12.27	0.54	-0.00347	-0.00265	0.00616	0	-0.00166	-0.00542	0.01249	0	1.5	1.17391	0.58371	0.39738	0.26742	0.16086	0.13113	0.46433
480	320	0.6	308.75	340.75	12.23	0.54	-0.00348	-0.00261	0.00607	0	-0.00166	-0.00543	0.01251	0	1.5	1.17391	0.58371	0.39738	0.26742	0.16086	0.13113	0.46433
480	320	0.6	308.15	340.95	12.13	0.54	-0.00351	-0.00254	0.00591	0	-0.00165	-0.00544	0.01253	0	1.5	1.17391	0.58371	0.39738	0.26742	0.16086	0.13113	0.46433
480	320	0.6	308.05	340.95	12.30	0.54	-0.00352	-0.00253	0.00588	0	-0.00165	-0.00544	0.01253	0	1.5	1.17391	0.58371	0.39738	0.26742	0.16086	0.13113	0.46433
480	320	0.6	309.65	343.35	12.40	0.51	-0.00343	-0.00272	0.00632	0	-0.00150	-0.00558	0.01286	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	311.95	344.45	12.43	0.51	-0.00331	-0.00299	0.00693	0	-0.00143	-0.00564	0.01300	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	310.95	344.55	12.37	0.51	-0.00337	-0.00287	0.00667	0	-0.00143	-0.00565	0.01302	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	310.65	344.45	12.23	0.51	-0.00338	-0.00284	0.00659	0	-0.00143	-0.00564	0.01300	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	311.05	344.75	12.17	0.51	-0.00336	-0.00289	0.00669	0	-0.00141	-0.00566	0.01304	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	311.65	345.15	12.33	0.51	-0.00333	-0.00295	0.00685	0	-0.00139	-0.00568	0.01309	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	311.85	343.95	12.20	0.51	-0.00332	-0.00298	0.00690	0	-0.00146	-0.00561	0.01294	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	312.45	347.65	12.53	0.49	-0.00329	-0.00304	0.00706	0	-0.00124	-0.00582	0.01340	0	1.5	0.96078	0.58371	0.28744	0.26742	0.10410	0.13113	0.41075
480	320	0.6	313.25	347.65	12.47	0.49	-0.00324	-0.00313	0.00726	0	-0.00124	-0.00582	0.01340	0	1.5	0.96078	0.58371	0.28744	0.26742	0.10410	0.13113	0.41075
480	320	0.6	313.65	348.15	12.67	0.49	-0.00322	-0.00318	0.00736	0	-0.00120	-0.00584	0.01346	0	1.5	0.96078	0.58371	0.28744	0.26742	0.10410	0.13113	0.41075
480	320	0.6	313.95	348.45	12.70	0.49	-0.00320	-0.00321	0.00744	0	-0.00119	-0.00586	0.01349	0	1.5	0.96078	0.58371	0.28744	0.26742	0.10410	0.13113	0.41075
480	320	0.6	314.45	348.45	12.57	0.49	-0.00318	-0.00326	0.00756	0	-0.00119	-0.00586	0.01349	0	1.5	0.96078	0.58371	0.28744	0.26742	0.10410	0.13113	0.41075
480	320	0.6	314.55	348.15	12.73	0.49	-0.00317	-0.00327	0.00758	0	-0.00120	-0.00584	0.01346	0	1.5	0.96078	0.58371	0.28744	0.26742	0.10410	0.13113	0.41075
480	320	0.6	313.55	347.95	12.63	0.49	-0.00323	-0.00317	0.00734	0	-0.00122	-0.00583	0.01343	0	1.5	0.96078	0.58371	0.28744	0.26742	0.10410	0.13113	0.41075

Tabel 7. Perhitungan Data Debit 8L/Jam

h ss (h ₂)	hsl r	hsl a	h mix	h ws (h ₄)	hsl r	hsl a	h mix	h3	h5	h6	h7	ρ udara	Cp udara	ṁ ref	ṁ ws	ṁ ss	Q _{cond}	Q _{evap}	Q _{oil}	Q _{gen}	η _{gen}	COP
Entalphy (kJ/kg)												(kg/m ³)	(kJ/kg.K)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(watt)	(watt)	(watt)	(watt)		
154.16	141.99	172.43	-2.4E-07	199.76	165.53	240.01	-0.04	271.42	76.80	67.38	257.54	1.1614	1.007	0.00041	0.00276	0.00317	80.43	78.59	35.88	174.07	0.17	0.45
154.00	141.86	172.23	-2.4E-07	200.67	166.30	241.09	-0.04	272.80	76.55	67.74	257.64	1.1614	1.007	0.00032	0.00213	0.00244	62.56	60.53	37.05	137.03	0.14	0.44
154.33	142.12	172.64	-2.4E-07	200.30	165.99	240.66	-0.04	273.24	77.55	68.72	257.66	1.1614	1.007	0.00041	0.00274	0.00315	80.43	77.66	35.06	174.86	0.17	0.44
154.65	142.37	173.06	-2.4E-07	199.94	165.68	240.23	-0.04	272.80	77.05	68.60	257.64	1.1614	1.007	0.00032	0.00213	0.00245	62.56	60.41	33.05	134.25	0.13	0.45
154.16	141.99	172.43	-2.4E-07	200.12	165.84	240.44	-0.04	271.76	77.05	67.99	257.61	1.1614	1.007	0.00041	0.00275	0.00317	80.43	78.33	28.26	175.13	0.18	0.45
153.20	141.21	171.18	-2.4E-07	200.48	166.14	240.88	-0.04	272.65	77.92	67.38	257.74	1.1614	1.007	0.00037	0.00245	0.00281	71.50	69.90	32.24	159.61	0.16	0.44
153.04	141.08	170.98	-2.4E-07	200.48	166.14	240.88	-0.04	271.67	78.30	67.62	257.71	1.1614	1.007	0.00037	0.00246	0.00283	71.50	70.28	30.27	160.82	0.16	0.44
155.62	143.16	174.31	-2.4E-07	207.22	169.95	246.07	-0.03	274.26	79.69	67.38	257.71	1.1614	1.007	0.00046	0.00204	0.00250	89.37	87.42	34.26	159.83	0.16	0.55
159.34	146.16	179.11	-2.3E-07	209.32	171.77	248.46	-0.03	273.92	80.20	67.13	257.66	1.1614	1.007	0.00046	0.00205	0.00251	89.37	87.90	33.86	155.33	0.16	0.57
157.72	144.85	177.02	-2.3E-07	209.51	171.94	248.68	-0.03	274.09	79.18	66.76	257.64	1.1614	1.007	0.00046	0.00204	0.00250	89.37	87.52	37.93	158.90	0.16	0.55
157.23	144.46	176.39	-2.3E-07	209.32	171.77	248.46	-0.03	274.43	79.18	67.01	257.61	1.1614	1.007	0.00041	0.00183	0.00224	80.43	78.52	32.62	143.64	0.14	0.55
157.88	144.98	177.23	-2.3E-07	209.89	172.28	249.11	-0.03	274.18	79.56	67.50	257.81	1.1614	1.007	0.00046	0.00204	0.00250	89.37	87.39	32.22	159.56	0.16	0.55
158.85	145.77	178.48	-2.3E-07	210.67	172.96	249.98	-0.03	273.92	79.18	68.72	257.81	1.1614	1.007	0.00041	0.00184	0.00225	80.43	78.10	30.61	142.64	0.14	0.55
159.18	146.03	178.90	-2.3E-07	208.36	170.94	247.38	-0.03	274.26	79.94	68.97	257.79	1.1614	1.007	0.00046	0.00204	0.00250	89.37	86.84	31.00	153.46	0.15	0.57
160.15	146.82	180.15	-2.3E-07	217.14	177.35	255.42	-0.03	277.08	81.85	68.60	257.46	1.1614	1.007	0.00050	0.00183	0.00233	98.31	95.10	63.95	163.22	0.16	0.58
161.45	147.87	181.83	-2.2E-07	217.14	177.35	255.42	-0.03	276.66	82.23	67.99	257.66	1.1614	1.007	0.00055	0.00201	0.00256	107.24	104.62	61.86	175.24	0.18	0.60
162.10	148.39	182.67	-2.2E-07	218.14	178.25	256.51	-0.03	276.00	81.09	68.60	257.56	1.1614	1.007	0.00055	0.00200	0.00255	107.24	103.97	53.93	174.78	0.17	0.59
162.59	148.79	183.29	-2.2E-07	218.74	178.80	257.17	-0.03	276.08	81.47	69.46	257.64	1.1614	1.007	0.00046	0.00167	0.00213	89.37	86.42	51.38	145.88	0.15	0.59
163.41	149.45	184.34	-2.2E-07	218.74	178.80	257.17	-0.03	276.82	81.34	67.99	257.76	1.1614	1.007	0.00046	0.00166	0.00212	89.37	86.76	58.92	143.84	0.14	0.60
163.57	149.58	184.55	-2.2E-07	218.14	178.25	256.51	-0.03	276.42	81.09	67.38	257.76	1.1614	1.007	0.00050	0.00183	0.00233	98.31	95.82	63.53	156.66	0.16	0.61
161.94	148.26	182.46	-2.2E-07	217.74	177.89	256.08	-0.03	276.49	81.60	67.62	257.69	1.1614	1.007	0.00050	0.00183	0.00234	98.31	95.87	58.13	160.12	0.16	0.60

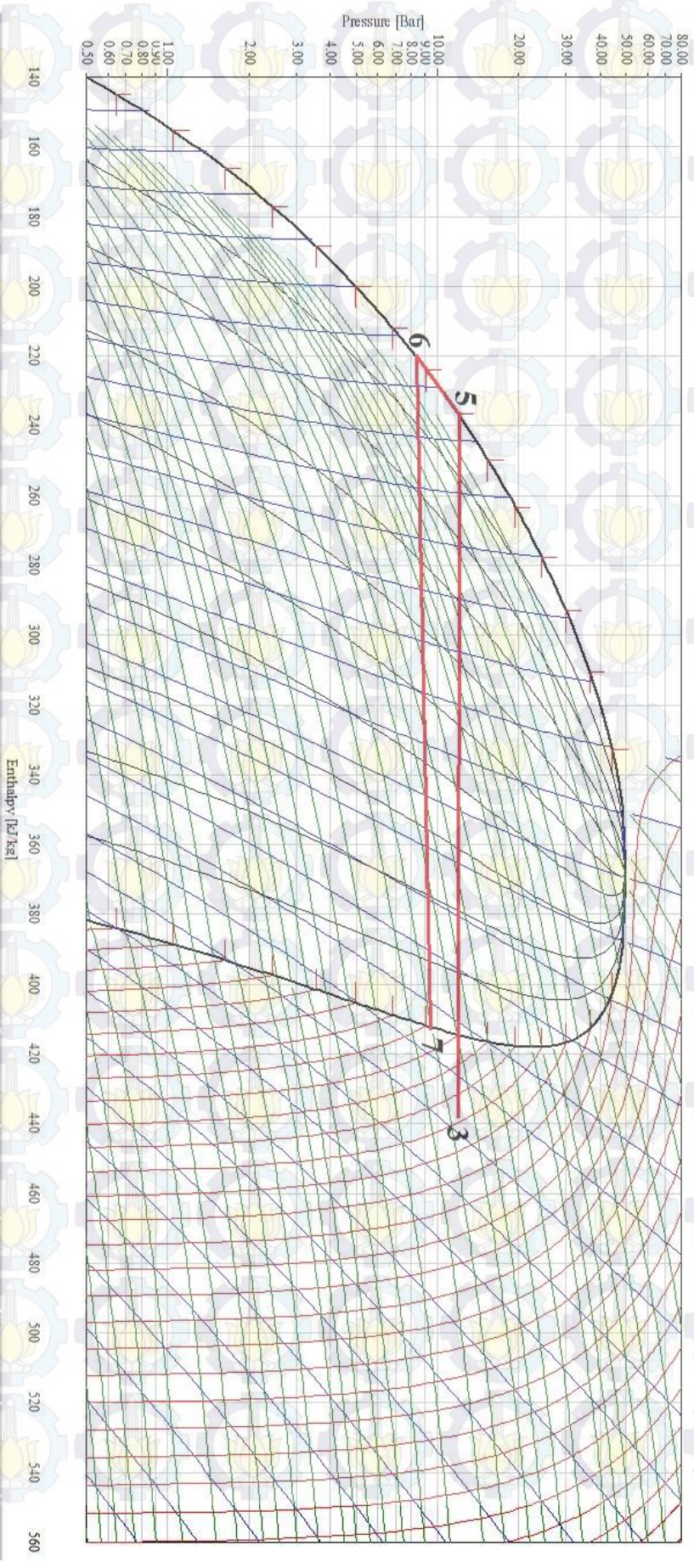
Tabel 8. Perhitungan Data Debit 10L/Jam

m R22 (gr)	m DMF (gr)	Xss	T ₂ (K)	T ₄ (K)	P (bar)	Xws	Strong Solution				Weak Solution				Y ₀		Y ₁		Y ₂		Y ₃	
							K ₀	K ₁	K ₂	K ₃	K ₀	K ₁	K ₂	K ₃	Ss	Ws	Ss	Ws	Ss	Ws	Ss	Ws
480	320	0.6	306.75	335.55	12.23	0.56	-0.00358	-0.00237	0.00551	0	-0.00197	-0.00509	0.01174	0	1.5	1.27273	0.58371	0.45175	0.26742	0.19077	0.13113	0.48979
480	320	0.6	307.05	335.75	12.23	0.56	-0.00357	-0.00241	0.00559	0	-0.00196	-0.00510	0.01177	0	1.5	1.27273	0.58371	0.45175	0.26742	0.19077	0.13113	0.48979
480	320	0.6	307.65	334.75	12.43	0.56	-0.00354	-0.00248	0.00577	0	-0.00202	-0.00503	0.01161	0	1.5	1.27273	0.58371	0.45175	0.26742	0.19077	0.13113	0.48979
480	320	0.6	307.45	335.05	12.37	0.56	-0.00355	-0.00246	0.00571	0	-0.00200	-0.00505	0.01166	0	1.5	1.27273	0.58371	0.45175	0.26742	0.19077	0.13113	0.48979
480	320	0.6	306.85	334.65	12.43	0.56	-0.00358	-0.00238	0.00554	0	-0.00202	-0.00503	0.01160	0	1.5	1.27273	0.58371	0.45175	0.26742	0.19077	0.13113	0.48979
480	320	0.6	307.45	334.45	12.33	0.56	-0.00355	-0.00246	0.00571	0	-0.00204	-0.00501	0.01156	0	1.5	1.27273	0.58371	0.45175	0.26742	0.19077	0.13113	0.48979
480	320	0.6	307.35	334.45	12.37	0.56	-0.00355	-0.00244	0.00568	0	-0.00204	-0.00501	0.01156	0	1.5	1.27273	0.58371	0.45175	0.26742	0.19077	0.13113	0.48979
480	320	0.6	308.85	339.05	12.47	0.54	-0.00348	-0.00263	0.00610	0	-0.00176	-0.00532	0.01227	0	1.5	1.17391	0.58371	0.39738	0.26742	0.16086	0.13113	0.46433
480	320	0.6	308.95	338.65	12.40	0.54	-0.00347	-0.00264	0.00613	0	-0.00178	-0.00529	0.01221	0	1.5	1.17391	0.58371	0.39738	0.26742	0.16086	0.13113	0.46433
480	320	0.6	309.15	338.95	12.50	0.54	-0.00346	-0.00266	0.00618	0	-0.00177	-0.00531	0.01225	0	1.5	1.17391	0.58371	0.39738	0.26742	0.16086	0.13113	0.46433
480	320	0.6	308.65	339.35	12.47	0.54	-0.00349	-0.00260	0.00605	0	-0.00174	-0.00534	0.01231	0	1.5	1.17391	0.58371	0.39738	0.26742	0.16086	0.13113	0.46433
480	320	0.6	309.45	339.55	12.50	0.54	-0.00344	-0.00270	0.00627	0	-0.00173	-0.00535	0.01234	0	1.5	1.17391	0.58371	0.39738	0.26742	0.16086	0.13113	0.46433
480	320	0.6	309.35	339.45	12.50	0.54	-0.00345	-0.00269	0.00624	0	-0.00174	-0.00534	0.01232	0	1.5	1.17391	0.58371	0.39738	0.26742	0.16086	0.13113	0.46433
480	320	0.6	309.25	339.35	12.43	0.54	-0.00345	-0.00267	0.00621	0	-0.00174	-0.00534	0.01231	0	1.5	1.17391	0.58371	0.39738	0.26742	0.16086	0.13113	0.46433
480	320	0.6	311.45	344.35	12.60	0.51	-0.00334	-0.00293	0.00680	0	-0.00144	-0.00564	0.01299	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	312.25	343.85	12.63	0.51	-0.00330	-0.00302	0.00701	0	-0.00147	-0.00561	0.01293	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	312.65	343.85	12.57	0.51	-0.00327	-0.00307	0.00711	0	-0.00147	-0.00561	0.01293	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	311.55	343.95	12.43	0.51	-0.00333	-0.00294	0.00683	0	-0.00146	-0.00561	0.01294	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	311.35	344.15	12.60	0.51	-0.00334	-0.00292	0.00677	0	-0.00145	-0.00563	0.01296	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	311.25	343.95	12.70	0.51	-0.00335	-0.00291	0.00675	0	-0.00146	-0.00561	0.01294	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077
480	320	0.6	311.45	343.95	12.60	0.51	-0.00334	-0.00293	0.00680	0	-0.00146	-0.00561	0.01294	0	1.5	1.04082	0.58371	0.32747	0.26742	0.12412	0.13113	0.43077

Tabel 9. Perhitungan Data Debit 10L/Jam

h ss (h ₂)	hsl r	hsl a	h mix	h ws (h ₄)	hsl r	hsl a	h mix	h3	h5	h6	h7	ρ udara (kg/m ³)	Cp udara (kJ/kg.K)	ṁ ref (kg/s)	ṁ ws (kg/s)	ṁ ss (kg/s)	Q _{cond} (watt)	Q _{evap} (watt)	Q _{oil} (watt)	Q _{gen} (watt)	η _{gen}	COP
Entalphy (kJ/kg)												ρ udara (kg/m ³)	Cp udara (kJ/kg.K)	ṁ ref (kg/s)	ṁ ws (kg/s)	ṁ ss (kg/s)	Q _{cond} (watt)	Q _{evap} (watt)	Q _{oil} (watt)	Q _{gen} (watt)	η _{gen}	COP
150.95	139.40	168.27	-2.5E-07	189.54	158.42	229.24	-0.04	268.74	75.67	70.33	258.03											
151.43	139.78	168.90	-2.5E-07	189.88	158.69	229.67	-0.04	269.46	75.29	69.83	257.89	1.1614	1.007	0.00028	0.00276	0.00304	53.62	51.93	17.36	138.77	0.14	0.37
152.39	140.56	170.14	-2.5E-07	188.20	157.38	227.52	-0.04	269.60	74.92	69.83	258.06	1.1614	1.007	0.00041	0.00413	0.00454	80.43	77.77	18.83	196.34	0.20	0.40
152.07	140.30	169.73	-2.5E-07	188.70	157.77	228.16	-0.04	269.80	75.67	69.96	258.11	1.1614	1.007	0.00041	0.00414	0.00456	80.43	77.96	20.81	200.52	0.20	0.39
151.11	139.53	168.48	-2.5E-07	188.03	157.25	227.30	-0.04	268.98	75.17	70.82	258.11	1.1614	1.007	0.00032	0.00323	0.00355	62.56	60.45	18.83	157.22	0.16	0.38
152.07	140.30	169.73	-2.5E-07	187.70	156.99	226.87	-0.04	269.08	75.29	71.07	257.84	1.1614	1.007	0.00032	0.00323	0.00355	62.56	60.29	25.28	152.78	0.15	0.39
151.91	140.17	169.52	-2.5E-07	187.70	156.99	226.87	-0.04	269.23	75.54	71.32	258.13	1.1614	1.007	0.00028	0.00277	0.00305	53.62	51.72	21.81	131.55	0.13	0.39
154.33	142.12	172.64	-2.4E-07	197.06	163.29	236.77	-0.04	272.01	75.67	69.83	257.89	1.1614	1.007	0.00036	0.00243	0.00279	71.50	68.48	42.92	146.58	0.15	0.47
154.49	142.24	172.85	-2.4E-07	196.34	162.71	235.91	-0.04	272.71	76.04	71.07	257.94	1.1614	1.007	0.00041	0.00273	0.00314	80.43	76.43	37.38	162.48	0.16	0.47
154.81	142.50	173.27	-2.4E-07	196.88	163.15	236.56	-0.04	271.40	75.79	71.32	257.98	1.1614	1.007	0.00037	0.00244	0.00280	71.50	68.23	37.39	145.12	0.15	0.47
154.00	141.86	172.23	-2.4E-07	197.59	163.73	237.42	-0.04	271.33	76.17	71.07	257.96	1.1614	1.007	0.00041	0.00275	0.00316	80.43	77.03	36.91	168.12	0.17	0.46
155.29	142.89	173.89	-2.4E-07	197.95	164.03	237.85	-0.04	270.97	76.17	71.19	257.94	1.1614	1.007	0.00037	0.00245	0.00281	71.50	68.54	36.41	146.83	0.15	0.47
155.13	142.76	173.68	-2.4E-07	197.77	163.88	237.64	-0.04	271.67	75.92	71.19	258.01	1.1614	1.007	0.00037	0.00243	0.00280	71.50	68.23	28.30	146.39	0.15	0.47
154.97	142.63	173.47	-2.4E-07	197.59	163.73	237.42	-0.04	272.11	75.67	71.32	257.96	1.1614	1.007	0.00041	0.00273	0.00314	80.43	76.42	29.31	164.30	0.16	0.47
158.53	145.50	178.06	-2.3E-07	209.12	171.60	248.24	-0.03	273.75	76.92	71.44	257.71	1.1614	1.007	0.00041	0.00182	0.00222	80.43	76.12	43.13	138.98	0.14	0.55
159.83	146.55	179.74	-2.3E-07	208.17	170.77	247.16	-0.03	272.79	76.67	70.70	257.66	1.1614	1.007	0.00046	0.00203	0.00248	89.37	85.20	41.09	149.38	0.15	0.57
160.48	147.08	180.57	-2.3E-07	208.17	170.77	247.16	-0.03	272.44	77.17	70.33	257.84	1.1614	1.007	0.00041	0.00183	0.00224	80.43	77.24	38.00	133.43	0.13	0.58
158.69	145.64	178.27	-2.3E-07	208.36	170.94	247.38	-0.03	273.84	77.55	71.19	257.86	1.1614	1.007	0.00041	0.00182	0.00223	80.43	76.49	37.44	137.64	0.14	0.56
158.37	145.37	177.86	-2.3E-07	208.74	171.27	247.81	-0.03	273.75	77.17	71.19	257.81	1.1614	1.007	0.00045	0.00202	0.00248	89.37	84.84	38.00	154.24	0.15	0.55
158.20	145.24	177.65	-2.3E-07	208.36	170.94	247.38	-0.03	272.88	76.67	71.44	257.81	1.1614	1.007	0.00046	0.00202	0.00248	89.37	84.89	36.44	153.76	0.15	0.55
158.53	145.50	178.06	-2.3E-07	208.36	170.94	247.38	-0.03	272.36	77.05	71.07	257.79	1.1614	1.007	0.00055	0.00244	0.00299	107.24	102.53	44.26	184.11	0.18	0.56

TABEL 10. P-H Diagram R22



DAFTAR PUSTAKA

Adianto, Angga Panca. 2013. **Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Debit Fluida Engine Oil Sebagai Heater Generator Terhadap Performansi Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22-DMF.** Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.

Agarwal. R. S & Bapat. S. L. 1982. **Solubility Characteristic of R22-DMF Refrigerant-Absorbent Combination.**

Ambesa, Wilson. 2011. **Analisa Termodinamis performansi Mesin Pendingin Sistem Difusi Absorpsi Amonia-Air Dengan Variasi Panas Generator.** Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.

Colonial Chemical. **Technical Data Sheet DMF - Colonial Chemical Solutions** <URL: colonialchemicals.com/uploads/Products/DMF/DMF_Tech.pdf

Fatouh. M & Srinivasa. S Murthy. 1992. **Comparison Of R22-Absorbent Pairs For Vapour Absorption Heat Transformers Based On P-T-X-H Data.** India: Indian Institute of Technology

Himawan, Bobby. 2013. **Studi Eksperimen Variasi Laju Pendinginan Kondensor Pada Mesin Difusi Absorpsi R22-DMF.** Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.

Incopera, F. P. & Dewitt, D. P., 1996. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Sixth Edition.** New York : John Wiley and Sons inc.

Lecce: Department of Engineering for Innovation, University of Salento.

Moran, Michael, J. & Shapiro. Howard. N. 1998. **Termodinamika Teknik - Edisi Keempat.** Diterjemahkan oleh Yulianto S. Nugroho. Jakarta: Penerbit Erlangga.

- Riva'I, Mohammad. 2012. **Studi Eksperimen Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22-DMF Dengan Variasi Heater Generator**. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.
- Samuel, Victor. 2010. **Refrigerasi Absorpsi**. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Starace. G & Pasalis. L. 2011. **An Advanced Analytical Model of The Diffusion Absorption Refrigerator Cycle**. Italy,
- Wikipedia. **Chlorodifluoromethane**.
<[URL:en.wikipedia.org/wiki/Chlorodifluoromethane](http://en.wikipedia.org/wiki/Chlorodifluoromethane)>
- Wikipedia. **Dimethylformamide**.
<[URL:en.wikipedia.org/wiki/Dimethylformamide](http://en.wikipedia.org/wiki/Dimethylformamide)>
- A. Zohar, M. Jelinek, A. Levy, I. Borde. **The influence of diffusion absorption refrigeration cycle configuration on the performance**. Applied Thermal Engineering 27 (13) (2007) 2213e2219.